



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

Escola Superior d'Agricultura de Barcelona

Efecto de la incorporación de diferentes abonos orgánicos en el desarrollo y contenido en lípidos, azúcares y clorofilas en cultivos de hortalizas

Trabajo final de grado
Ingeniería Agrícola

Autor: Anddy Alvarado Jurado

Tutoras: Nuria Carazo

Mónica Blanco

31 / Enero / 2020

Resum

L'agricultura basada en la fertilització mineral ha resultat ser un model poc sostenible. Per aquesta raó cada vegada s'està apostant més per un model d'agricultura basat en la sostenibilitat i l'aprofitament de recursos orgànics produïts per la societat. L'objectiu principal d'aquest treball és avaluar com afecta l'aplicació de diferents tipus de fertilitzants orgànics (fang de depuradores, purins de porc i residus sòlids urbans) en el desenvolupament dels cultius d'enciam i rave, en comparació amb els fertilitzants minerals. Per a això s'han conreat aquests dos tipus d'hortalisses en dues parcel·les en camp obert en la unitat experimental d'Agròpolis (ESAB-UPC). En el cultiu d'enciam no s'aprecien diferències significatives en el creixement vegetatiu per al fertilitzant fang de depuradora, purins i abonament mineral; en canvi, sí que hi ha diferències per a les concentracions de clorofil·la i lípids i hidrats de carboni segons el tractament aplicat. Per al cultiu de rave, el fang de depuradora és el tractament que té un millor resultat en el creixement vegetatiu, i es troben diferències per a la concentració de clorofil·la, lípids i hidrats de carboni segons el tractament rebut.

Paraules clau: Fertilitzants orgànics, fertilitzants minerals, reaprofitament orgànic, agricultura sostenible.

Resumen

La agricultura basada en la fertilización mineral ha resultado ser un modelo poco sostenible. Por esta razón cada vez se está apostando más por un modelo de agricultura basado en la sostenibilidad y el aprovechamiento de recursos orgánicos producidos por la sociedad. El objetivo principal de este trabajo es evaluar cómo afecta la aplicación de diferentes tipos de fertilizantes orgánicos (fango de depuradoras, purines de cerdo y residuos sólidos urbanos) en el desarrollo de los cultivos de lechuga y rabanito, en comparación con los fertilizantes minerales. Para ello se han cultivado estos dos tipos de hortalizas en dos parcelas en campo abierto en la unidad experimental d'Agròpolis (ESAB-UPC). En el cultivo de lechuga no se aprecian diferencias significativas en el crecimiento vegetativo para el fertilizante fango de depuradora, purines y abono mineral; en cambio, sí que hay diferencias para las concentraciones de clorofila y lípidos e hidratos de carbono según el tratamiento aplicado. Para el cultivo de rabanito, el fango de depuradora es el tratamiento que tiene un mejor resultado en el crecimiento vegetativo, y se encuentran diferencias para la concentración de clorofila, lípidos e hidratos de carbono según el tratamiento recibido.

Palabras clave: Fertilizantes orgánicos, fertilizantes minerales, reaprovechamiento orgánico, agricultura sostenible.



Abstract

Agriculture based on mineral fertilisation has turned out to be a not much model sustainable. For this reason, there is an increasing support to an agriculture model based on sustainability and the exploitation of organic resources produced by society. The main objective of this work is to evaluate how the application of different types of organic fertilisers (sewage sludge, liquid manure and urban solid waste) affects in the development of lettuce and radish crops, compared to mineral fertilisers. With this purpose, these two types of vegetables have been grown in two outdoor plots in the experimental unit in Agòpolis (ESAB-UPC). In the lettuce crop there are no significant differences in the vegetative growth for the sewage sludge fertiliser, liquid manure and mineral fertiliser; however, there are differences for the concentrations of chlorophyll and lipids and carbohydrates depending on the treatment applied. For the radish crop, sewage sludge is the treatment that has a better result in the vegetative growth, and differences are found in the concentration of chlorophyll, lipids and carbohydrates depending on the treatment received.

Key words: Organic fertilisers, mineral fertilisers, organic exploitation, sustainable agriculture.

Sumario

AGRADECIMIENTOS	13
1. INTRODUCCIÓN	14
1.1 Contexto actual: Uso de los fertilizantes	15
1.1.1 Intereses de la reutilización de los residuos orgánicos en la agricultura	15
1.2. Materias orgánicas utilizadas como fertilizantes	16
1.2.1. Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU)	16
1.2.2. Lodos de estaciones de depuradoras de aguas residuales (EDAR)	18
1.2.3. Purines de cerdo	20
2. OBJETIVOS	24
2.1. Objetivo general	24
2.2. Objetivos específicos	24
3. MATERIAL Y MÉTODOS	25
3.1. Localización e instalaciones	25
3.1.1. Características del suelo	25
3.1.2. Riego	27
3.1.3. Condiciones meteorológicas	29
3.2. Material vegetal	29
3.3. Fertilizantes	30
3.4. Tratamiento del experimento	33
3.5. Diseño experimental	34
3.5.1. Dosificación de los fertilizantes	34
3.5.2. Distribución de los tratamientos y repeticiones	35
3.5.3. Preparación de parcelas de cultivo	36
3.5.4. Duración y condiciones del cultivo	36
3.6. Determinación de biomasa	38
3.7. Determinación de clorofilas de lechuga	38
3.8. Determinación de clorofilas de rabanito	38
3.8.1. Estimación de las clorofilas con el aparato OPTI-SCIENCES CCM-200	39
3.8.2. Extracción y cuantificación de clorofilas	40
3.9. Determinación de lípidos e hidratos de carbono	41

3.9.1.	Preparación de las muestras.....	41
3.9.2.	Extracción de lípidos e hidratos de carbono.....	42
3.9.3.	Cuantificación del contenido en lípidos e hidratos	45
3.10.	Análisis estadístico	45
4.	RESULTADOS	47
4.1	Lechuga.....	47
4.1.1.	Longitud y número total de hojas.....	47
4.1.2	Diámetro de las hojas de lechuga	51
4.1.3	Volumen y forma de las lechugas	53
4.1.4	Biomasa final	55
4.1.5	Clorofilas según tratamiento en lechuga.....	61
4.1.6	Resultados en la cuantificación de lípidos e hidratos de carbono de lechugas	63
4.2.	Rabanito	65
4.2.1	Longitud y número total de hojas.....	65
4.2.2.	Biomasa final	67
4.2.3.	Resultados de la determinación de clorofilas en rabanito.....	76
4.2.4.	Patrón de calibración	76
4.2.5.	Clorofilas según tratamiento en rabanito.....	79
4.2.6.	Resultados en la cuantificación de lípidos e hidratos de carbono de rabanitos.....	81
5.	DISCUSIÓN	83
5.1.	Lechuga.....	85
5.2.	Rabanito	87
6.	CONCLUSIONES	88
BIBLIOGRAFÍA		89
ANEXOS		95

Índice de figuras

Figura 3.1 Imagen del terreno que se utilizó para el desarrollo del trabajo.	25
Figura 3.2 Cinta de riego utilizada en el trabajo	27
Figura 3.3 Temperaturas medias y precipitación acumulada diaria durante el periodo de cultivo. Extraído de: Estación meteorológica Viladecans (Meteocat).	29
Figura 3.4 Material vegetal utilizado para el experimento. A) Plantel de lechuga. B) Semillas de rabanito	30
Figura 3.5 Designación de las subparcelas de los diferentes tratamientos	33
Figura 3.6 Designación de las parcelas y localización de las subparcelas.	35
Figura 3.7 Toma de datos del material vegetal para el análisis de contenido de clorofila en rabanito. _____	39
Figura 3.8 Extracción de clorofila de rabanito	40
Figura 3.9 Determinación del peso seco de los discos de rabanito	41
Figura 3.10 Preparación de muestras para ser secadas.	42
Figura 3.11 Adición del disolvente a las muestras de rabanito y lechuga	43
Figura 3.12 A) Muestra de material vegetal después de haber pasado por el ultrasonido y la centrifugadora. B) Muestra vegetal pasando por el filtro.	44
Figura 3.13 A) Secado de muestras mediante nitrógeno y placa de calor. B) Peso de la muestras después del secado.	44
Figura 4.1 A) Evolución de la longitud de la hoja más larga y B) el número total de hojas, según tratamiento para el cultivo de lechuga (LC: Compost; LF: Fangos; LM: Mineral; LP: Purín).	49

- Figura 4.2 A) Diagramas de caja del número total de hojas y B) longitud de la hoja más larga en lechuga, según tratamiento, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). _____ 50
- Figura 4.3 A) Diagramas de caja del diámetro 1 y B) diámetro 2, según tratamiento en lechuga, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). _____ 52
- Figura 4.4 A) Diagramas de caja del volumen y B) excentricidad en lechuga, según tratamiento, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). ____ 54
- Figura 4.5 A) Diagrama de caja del peso fresco, B) peso seco y C) % de humedad, según tratamiento en lechuga, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). _____ 57
- Figura 4.6 Efecto localización en lechugas. _____ 59
- Figura 4.7 A) Diagrama de caja del peso fresco, B) peso seco y C) % de humedad, según localización, en lechuga con un nivel de significación del 5% (I: Localización I, II: Localización II, III: Localización III, IV: Localización IV). _____ 60
- Figura 4.8 A) Diagrama de contenido de clorofila a, B) clorofila b y C) clorofila total, según tratamiento, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). _____ 62
- Figura 4.9 A) Diagrama del contenido en lípidos e B) hidratos de carbonos, según tratamiento, con un nivel de significación del 5 % en lechuga. (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). _____ 64
- Figura 4.10 A) Diagramas de caja del número total de hojas y B) longitud de la hoja más larga según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín). _____ 66
- Figura 4.11 A) Diagrama de caja del peso fresco total, B) peso fresco hojas y C) peso fresco raíz según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín). _____ 70

- Figura 4.12 A) Diagrama de caja del peso seco total, B) peso seco hojas y C) peso seco raíz según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín). _____ 71
- Figura 4.13 A) Diagrama de caja del humedad total, B) humedad hojas y C) humedad raíz según tratamiento con en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín). _____ 72
- Figura 4.14 Efecto de la localización en rabanito. _____ 74
- Figura 4.15 A) Diagrama de caja del peso fresco, B) peso seco y C) % de humedad, según localización, en rabanito con un nivel de significación del 5% (I: Localización I, III: Localización III, V: Localización V, VI: Localización VI). _____ 75
- Figura 4.16 Grafica de cuantificación de clorofila a en rabanito. _____ 77
- Figura 4.17 Grafica de cuantificación de clorofila b en rabanito. _____ 77
- Figura 4.18 Grafica de cuantificación de clorofila total en rabanito _____ 78
- Figura 4.19 A) Diagrama de contenido de clorofila a, B) clorofila b y C) clorofila total según tratamiento con en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín). _____ 80
- Figura 4.20 A) Diagrama del contenido en lípidos e B) hidratos de carbonos según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% en rabanito. (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín). _____ 82

Índice de tablas

Tabla 3-1 Características principales del terreno empleado en el trabajo. _____	26
Tabla 3-2 Características principales del agua de riego utilizada para el trabajo. _____	28
Tabla 3-3 Resumen de las características principales de los fertilizantes orgánicos: Purín de cerdo y compost. % sms= sobre materia seca. _____	31
Tabla 3-4 Resumen de las características principales de fertilizante: Fangos de depuradora ____	32
Tabla 3-5 Dosis de los fertilizantes aplicados al suelo. _____	34
Tabla 3-6 Datos de los ciclos de lechuga y rabanito. _____	37
Tabla 4-1 Resultado de la determinación del número total hojas y longitud total de la hoja más larga de lechuga. _____	50
Tabla 4-2 Resultado de la determinación del diámetro 1 y diámetro 2 de lechuga. _____	52
Tabla 4-3 Resultado de la determinación del volumen y forma en lechuga. _____	55
Tabla 4-4 Resultados de la determinación de biomasa final de lechuga _____	58
Tabla 4-5 Biomasa final de lechuga en compost según la localización. _____	60
Tabla 4-6 Resultados de la determinación total de clorofilas de lechuga. _____	62
Tabla 4-7 Resultados del contenido de lípidos e hidratos de carbonos de lechuga. _____	64
Tabla 4-8 Resultado del número total hojas y longitud total de la hoja más larga en rabanito. ____	66
Tabla 4-9 Resultados de la determinación de biomasa final en peso fresco en rabanito. _____	70
Tabla 4-10 Resultados de la determinación de biomasa final en peso seco en rabanito. _____	71
Tabla 4-11 . Resultados de la determinación de biomasa final % de humedad en rabanito. _____	72
Tabla 4-12 Biomasa final de rabanito en compost según la localización. _____	75

Tabla 4-13 Resultados de la determinación total de clorofilas en rabanito. _____ 80

Tabla 4-14 Resultados del contenido de lípidos e hidratos de carbonos en rabanito. _____ 82



Símbolos y acrónimos

Abs	Absorbancia
CCI	Índice de contenido de clorofila
CCM	Medidor de contenido de clorofila
EDAR	Estación de depuradora de aguas residuales
LC	Lechuga fertilizada con compost o RSU
LC1	Lechuga fertilizada con compost (RSU) en subparcela 1
LC2	Lechuga fertilizada con compost (RSU) en subparcela 2
LC3	Lechuga fertilizada con compost (RSU) en subparcela 3
LC4	Lechuga fertilizada con compost (RSU) en subparcela 4
LF	Lechuga fertilizada con fangos de depuradora
LF1	Lechuga fertilizada con fangos de depuradora en subparcela 1
LF2	Lechuga fertilizada con fangos de depuradora en subparcela 2
LF3	Lechuga fertilizada con fangos de depuradora en subparcela 3
LF4	Lechuga fertilizada con fangos de depuradora en subparcela 4
LM	Lechuga fertilizada con abono mineral
LM1	Lechuga fertilizada con fertilizante mineral en subparcela 1
LM2	Lechuga fertilizada con fertilizante mineral en subparcela 2
LM3	Lechuga fertilizada con fertilizante mineral en subparcela 3
LM4	Lechuga fertilizada con fertilizante mineral en subparcela 4
LP	Lechuga fertilizada con purines
LP1	Lechuga fertilizada con purín en subparcela 1
LP2	Lechuga fertilizada con purín en subparcela 2
LP3	Lechuga fertilizada con purín en subparcela 3
LP4	Lechuga fertilizada con purín en subparcela 4
RC	Rabanito fertilizado con compost o RSU
RC1	Rabanito fertilizado con compost (RSU) en subparcela 1
RC2	Rabanito fertilizado con compost (RSU) en subparcela 2

RC3	Rabanito fertilizado con compost (RSU) en subparcela 3
RC4	Rabanito fertilizado con compost (RSU) en subparcela 4
RF	Rabanito fertilizado con fangos de depuradora
RF1	Rabanito fertilizado con fangos de depuradora en subparcela 1
RF2	Rabanito fertilizado con fangos de depuradora en subparcela 2
RF3	Rabanito fertilizado con fangos de depuradora en subparcela 3
RF4	Rabanito fertilizado con fangos de depuradora en subparcela 4
RM	Rabanito fertilizado con abono mineral
RM1	Rabanito fertilizado con fertilizante mineral en subparcela 1
RM2	Rabanito fertilizado con fertilizante mineral en subparcela 2
RM3	Rabanito fertilizado con fertilizante mineral en subparcela 3
RM4	Rabanito fertilizado con fertilizante mineral en subparcela 4
RP	Rabanito fertilizado con purines
RP1	Rabanito fertilizado con purín en subparcela 1
RP2	Rabanito fertilizado con purín en subparcela 2
RP3	Rabanito fertilizado con purín en subparcela 3
RP4	Rabanito fertilizado con purín en subparcela 4
RSU	Residuos sólidos urbanos

Agradecimientos

Me gustaría dar las gracias a todas las personas que han hecho posible la realización de este Trabajo Final de Grado

En primer lugar, quiero dar las gracias a mis tutoras: Nuria Carazo y Mónica Blanco, por haberme ayudado en toda la realización y corrección del trabajo, sin vosotras este trabajo no sería el mismo; a la profesora Nuria Cañameras por su coordinación del proyecto en Agròpolis y su trabajo tanto dentro y fuera del campo. A la Escuela Superior de Agricultura de Barcelona por haberme incorporado al equipo, permitiendo trabajar en nuevos ámbitos, así como a la técnica de Producción Vegetal Olga Gener por facilitarme todo lo necesario en los laboratorios de la ESAB.

En segundo lugar, me gustaría dar las gracias al equipo del Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua (CSIC), especialmente a Yolanda Rodríguez y Víctor Matamoros, por la ayuda en la extracción de lípidos e hidratos de carbono, y en la resolución de cualquier duda que haya podido surgir.

Por último, y no por eso menos importantes, a todo el grupo de amigos de la universidad por haberme animado siempre a seguir adelante y a mi familia, en especial, a mi hermana. Gracias por todo el apoyo que me das día a día.

1. Introducció

Durante los últimos años se ha despertado en todo el mundo un amplio interés en la producción agrícola, pensada cada vez más en la reutilización de residuos orgánicos como fuente de nutrientes para los cultivos. La agricultura intensiva es la principal consumidora de los fertilizantes de síntesis, y ha demostrado con el tiempo las desventajas de este tipo de agricultura. De hecho, la lista de efectos negativos parece ser cada vez más amplia: como la disminución la biodiversidad, el alto coste energético, la pérdida de fertilidad de los suelos y su erosión, el monocultivo, la contaminación de los recursos naturales y el medio ambiente (López et al., 2015). De una forma u otra, todos estos factores han llevado a determinar este modelo como poco sostenible.

En cambio, la valoración de los residuos orgánicos como fuente de nutrientes para los cultivos ha experimentado grandes cambios en estos últimos años, cambios producidos por las variaciones socioeconómicas, las altas concentraciones de poblaciones en núcleos urbanos, el desarrollo de la industria agroalimentaria y las intensificaciones de las explotaciones agrarias, dando como resultado la producción de enormes cantidades de residuos orgánicos, con los subsiguientes problemas medioambientales (Pomares & Canet, 2001). Una vía de gestión de estos residuos es el reaprovechamiento de su fracción orgánica y mineral para la fertilización de los campos de cultivo, recuperando toda una serie de recursos contenidos en los residuos y minimizando su impacto negativo sobre el medio ambiente. Es por ello en que esta investigación se plantea el interés del aprovechamiento de los residuos orgánicos como fuente de nutrientes para los cultivos en lugar de fertilizantes minerales, puesto que la fertilización está estrechamente relacionada con la productividad final de cultivos. A partir de ello se estudiara el efecto que tiene la incorporación de diferentes abonos orgánicos sobre el desarrollo vegetativo, contenidos en lípidos, azúcar y clorofila en cultivos de hortalizas como son la lechuga y el rabanito.



1.1 Contexto actual: Uso de los fertilizantes

1.1.1 Intereses de la reutilización de los residuos orgánicos en la agricultura

En España, la legislación (Ley 22/2011) define el concepto de residuos como aquella materia derivada de actividades de producción y consumo que no han alcanzado ningún valor económico, por lo que se podría decir que esta descripción es bastante amplia en cuanto a definir cuáles son los productos residuales que se derivan de los sistemas de vida. En los últimos años se ha dado un aumento de la producción de residuos, sobre todo en los países desarrollados, ya que es donde ha habido un mayor aumento del consumo, lo cual conlleva a que también se dé una mayor producción de residuos (Alvariño, 2005).

Estos materiales producidos en estos países se han de eliminar, ya que acarrear problemas relacionados con la degradación de los ecosistemas y se convierten en materiales contaminantes (Alvariño, 2005). A estos problemas derivados de la producción de residuos se le suma la elevada necesidad de producir alimentos, lo cual está relacionado con el uso intensivo de la tierra, provocando así tanto una degradación del suelo debido a esta explotación como una pérdida de materia orgánica en el suelo (Colomina, 2005). En este contexto, en el que por una parte está la problemática de la degradación del suelo y, por otra parte, la de la producción de grandes cantidades de residuos provenientes de diferentes actividades y producciones, se consideró la utilización agrícola de estos residuos como una posible solución alternativa en la que se produce un reciclaje de nutrientes que ayudaría a que el sistema fuera más eficiente, ya que, al sacar el carácter contaminante de los residuos, se utilizaría la materia orgánica para suministrar nutrientes al suelo.

La recuperación de estos suelos degradados utilizando estos residuos orgánicos hace que mejoren las propiedades del suelo; no sólo aquellas propiedades físicas, sino que también lo hacen las químicas y las biológicas. Además, esto ayuda a que se den las condiciones propicias para que se desarrolle la vida y evita la pérdida de recursos y energía (Echeverri,

2004). La incorporación de estos residuos en la agricultura se puede dar desde el punto de vista de un acondicionador si se tratan con el objetivo de mejorar alguna propiedad del suelo. También se pueden utilizar estos residuos como fertilizantes si se tratan con la finalidad de aportar nutrientes para el sostenimiento de la cubierta vegetal, además de poder utilizarlos como sustrato para el mantenimiento de los cultivos (Alvariño, 2005). Estas posibles aplicaciones estarán condicionadas por las propiedades físicas y químicas de la mayoría de los residuos orgánicos, las cuales indicarán si se pueden utilizar estos residuos como acondicionador o fertilizante.

1.2. Materias orgánicas utilizadas como fertilizantes

Los diferentes tipos de residuos biológicos utilizados en el estudio provienen de los sectores primario y terciario; entendiendo como restos orgánicos primarios los producidos por la agricultura, la ganadería y la industria forestal, y los residuos orgánicos terciarios los derivados del sector servicios, como son los residuos sólidos urbanos o los lodos de estaciones de depuradoras de aguas residuales. (Boixadera & Teira, 2001)

1.2.1. Fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos (RSU)

Se entiende por residuos sólidos urbanos (RSU), también denominados residuos domésticos, todos aquellos restos generados por la actividad propia de la ciudadanía. Más concretamente, quedan recogidos bajo la ley de residuos (Ley 22/2011, de 28 de julio de residuos y suelos contaminados), que los define como aquellos restos originados por la actividad de los hogares como consecuencia de las actividades domésticas. A su vez, también forman parte de estos todos aquellos restos provenientes de los sectores servicios e industria, y, de la misma manera, también se contemplan los procedentes de la limpieza de vías públicas, zonas verdes, áreas recreativas y playas.

Debido al cambio demográfico de las poblaciones, cada vez más concentrado en los núcleos urbanos, la generación de residuos domésticos es mayor. Tanto es así, que la media diaria de los habitantes de Barcelona de generación de RSU para el 2018 fue de 1,4



kg, de los cuales 0,5 kg fue fracción orgánica de residuos municipales recogidos selectivamente (FORM) y 0,8 kg la fracción resto (Volumen de la recogida de residuos sólidos urbanos. 2014-2018, 2020).

Tal como demuestran los datos estadísticos y la difusión de datos, ambos ofrecidos por el Ayuntamiento de Barcelona, el volumen de recogida de residuos sólidos urbanos entre el 2014 y el 2018 muestra que en 2014 la totalidad de residuos sólidos urbanos fue de 739.061 toneladas; en cambio, para el 2018 esta cifra fue de 800.319 toneladas. Cabe destacar que la población de esta ciudad fue de 5,45 millones en 2014 y de 5,52 millones en 2018. (Eurostat, 2019). Tal como demuestran varios estudios (Kaza et al., 2018; Ávila et al., 2011), el incremento de la población está directamente relacionado con el incremento de residuos sólidos urbanos. Pero el incremento de RSU no solo se puede achacar a una distribución de la población, sino también a las políticas de consumo familiares, la sustitución de los envases retornables por envases de un solo uso, y toda una gama de productos envueltos en plásticos, listos para su consumo, dando signos de conformidad y modernidad; pero, por contrapartida, el incremento de RSU es exponencial, y cada vez de una composición más compleja (Huerta et al., 2008).

Está claro que la gestión de los residuos tiende cada vez más a una mayor sostenibilidad. Como, por ejemplo, de la gestión correcta de la fracción orgánica de los residuos orgánicos municipales (FORM) se puede obtener energía y/o compost, según el sistema de tratamiento elegido (digestión anaerobia y/o compostaje). El compost generado por los residuos urbanos tiene un alto nivel fertilizante, dado que presenta nutrientes importantes como nitrógeno, fósforo y potasio. A su vez, produce mejoras considerables en el suelo en sus propiedades fisicoquímicas, aumenta la materia orgánica, mejora la estructura del suelo, y también produce un incremento de los niveles de micronutrientes (López et al., 2010). A pesar de los beneficios que aporta el compost de los RSU, se han de tener en cuenta los posibles efectos nocivos que pueden causar en el suelo, como, por ejemplo, la acumulación de metales pesados (Cu, Zn, Cd, Ni, Cr y Pb). De estos metales

pesados, los que experimentan un mayor incremento son el Cu, Zn y el Cd, y en menor medida Pb y Cr, según los trabajos realizados por Bravo et al. (2010) y Villar et al. (2010).

1.2.2. Lodos de estaciones de depuradoras de aguas residuales (EDAR)

Los lodos de depuradoras son los residuos que se obtienen a partir de la concentración de la fase sólida que procede de la depuración de las aguas residuales urbanas. La concentración progresiva, tanto de la actividad humana como la industrial y otras actividades que se derivan del agua, ha hecho que se dé un incremento del consumo de esta, de manera que también ha habido un gran aumento del volumen de aguas residuales producidas. Dentro de estas aguas residuales urbanas se pueden distinguir dos tipos: las aguas negras y las aguas grises. Las primeras proceden de las excretas humanas, orinas y heces; en cambio, las segundas lo hacen de la limpieza de las calles y edificios, así como el agua que se utiliza en los domicilios particulares para la limpieza e higiene personal de las personas. En la mayoría de los países se han establecido procedimientos de tratamientos y depuración de aguas residuales debido a los condicionamientos medioambientales. En España este tipo de aguas se suelen tratar de forma conjunta debido a la complejidad con las que se suelen recoger estos tipos de agua en las ciudades (Rocamora et al., 2015).

La composición de los lodos de depuradora es muy variada y depende de factores como la procedencia del efluente o los procesos a los que ha sido sometido, ya que estos últimos pueden determinar las diferentes cantidades de componentes inorgánicos. De forma general, el tratamiento a los que se someten los lodos en la depuración de las aguas residuales se puede agrupar en tres grupos: espesado, digestión y acondicionamiento. En el primero se disminuye el contenido hídrico con la formación de una masa compacta; en el segundo se da un tratamiento de fermentación, ya sea anaeróbica o aeróbica, de los lodos espesados por la acción de microorganismos. El último grupo, el acondicionamiento, se trata de la fase final de la estabilización de los lodos de depuradora, y, a su vez, puede ser de diferentes tipos, aunque se suele tratar de

un nuevo proceso de deshidratación (García, 1996). Con este procedimiento y tratamiento de las aguas residuales se intentan eliminar los sólidos, los componentes orgánicos e inorgánicos y las bacterias patógenas. En relación con estas últimas, el proceso de acondicionamiento es importante, ya que, al darse una estabilización y compostaje de los lodos de depuradora, se reduce una gran cantidad de microorganismos, en la que se incluyen las bacterias patógenas, los parásitos y los virus (Rocamora et al., 2015).

Por lo que respecta a la composición de los lodos de depuradora, estos son un tipo de residuo rico en materia orgánica y en algunos nutrientes como nitrógeno y fósforo. De manera que, al ser estos residuos ricos en materia orgánica, se suelen utilizar para la reparar los suelos degradados, así como también emplearse en la agricultura por la cantidad de elementos nutritivos que tiene y otros fertilizantes utilizados en la agricultura (Aguilar et al., 1999)

Como se ha mencionado previamente, uno de los aspectos para el que se utilizan los lodos depurados es la recuperación de los suelos degradados; es decir, recuperar su estructura e incrementar su potencial nutricional. Por una parte, la incorporación de residuos de lodos orgánicos al suelo puede modificar las propiedades de este como son la porosidad, la agregación, la densidad y la capacidad para retener el agua. Por otra parte, la incorporación de estos lodos depurados al suelo también tiene influencia sobre la estructura química de este, debido a la materia orgánica que contienen y a que se libera durante el proceso de descomposición. Estos nutrientes que se liberan de forma progresiva hacen que se dé un aumento de la fertilidad, con el consiguiente incremento de la productividad; además, el cultivo conserva un nivel de materiales disponibles para las plantas superior al de los suelos que se suelen tratar con fertilizantes inorgánicos. Es por ello por lo que estos lodos de depuradora se suelen utilizar en la agricultura, y la forma en la que se utilizan consiste en incorporarlos a las tierras de cultivos mediante diferentes técnicas, como pueden ser de esparcimiento o de inyección, las cuales aportan nutrientes y mejoran la estructura del suelo (García, 1996).

La utilización de estos lodos de depuradora está regida por una normativa, que en el caso de España se planteó en 1995 y en la que se explica que no está permitido su uso en cultivos hortofrutícolas durante su ciclo vegetativo o en menos de 10 meses desde su recolección, ni durante la recolección misma cuando las partes vegetativas se comercializan y consumen en fresco si están en contacto directo con el suelo (Rocamora et al., 2015).

Debido a la alta cantidad de nutrientes que aporta al suelo, es importante tener en cuenta la composición de estos antes de aplicarlos al suelo, ya que en algunos casos estos pueden conllevar ciertos riesgos. En general, uno de los efectos nocivos que pueden tener estos son los microorganismos patógenos, los metales pesados y los componentes orgánicos. Respecto a estos últimos, los efectos perjudiciales no están relacionados con un exceso de nutrientes, sino con la aplicación de los lodos de depuradora en épocas inadecuadas, en los que no se corresponde con las necesidades fisiológicas de las plantas y en terrenos permeables, y puede provocar un aumento de nitratos en el suelo. En cuanto a los efectos nocivos que pueden tener los lodos de depuradora relacionados con los microorganismos patógenos, estos contienen grandes cantidades de organismos patógenos, pero la cantidad de estos depende en gran medida al proceso que se ha seguido en la estación depuradora y de las condiciones sanitarias generales de la población (García, 1996).

1.2.3. Purines de cerdo

El purín de cerdo está generado a partir de las deyecciones de los animales, restos de alimentos, agua en proporciones variables y restos de materiales de lecho. Estos componentes, proceden del sistema productivo que se aplica en la explotación porcina y que da como resultado un residuo de consistencia fluida, con un contenido de materia seca inferior al 15 % (Moreno et al., (2016).

En la industria porcina, las deyecciones que se producen por este ganado se clasifican en base al contenido de humedad. Por una parte, está el purín constituido por heces y orina



producida en los alojamientos animales, y que se acostumbra a mezclar con el material empleado como lecho, los restos de pienso y el agua de la limpieza, y que tiene un contenido de materia seca que varía entre un 1 y 10 %. Por otra parte, está el purín sólido, el cual también está constituido por heces y orina que se producen en los alojamientos de los animales, y que se mezcla con el material empleado para lecho, los restos de pienso y el agua de la limpieza, pero que, a diferencia del primero, este purín sólido contiene materia seca de entre un 23 y 25 % (Moreno et al., (2016). La densidad del purín y del contenido de la materia seca puede estar relacionada con la cantidad de agua utilizada para lavar el establo y el tipo de fosa que se utiliza en la recogida de los purines, ya que, en caso de que sea una fosa abierta, la densidad de este estará influenciada por factores como la pluviometría de donde se encuentra. En caso de que sea una fosa cerrada, el factor que más influenciaría sería el lavado del establo.

La explotación de la industria porcina se ha concretado en áreas delimitadas debido a los altos costes de producción que esta supone. En el caso de España, se encarga de producir 40 millones de cerdos anualmente, y esta producción se concentra en zonas como Zaragoza, Barcelona, Huesca, Lleida, Segovia y Teruel, de manera que esta concentración intensiva ganadera también puede conllevar una serie de efectos que son perjudiciales para el medio ambiente y que afectan a la calidad del aire, el agua y el suelo, y que se pueden originar tanto en la propia granja como durante el proceso de almacenamiento, tratamiento o aplicación del purín (Moreno et al., (2016). Es por ello que el tratamiento de estos residuos tiene un papel destacado en la protección del medio ambiente, y factores como los procesos biotecnológicos se pueden utilizar para ayudar a transformar estos residuos perjudiciales en productos de gran valor, con aprovechamiento energético, en la alimentación de los animales o como fertilizantes.

En la ganadería tradicional ya se utilizaban las deyecciones de los animales para la fertilización, y la producción de estos residuos era mínima, ya que se trataba de instalaciones pequeñas. Actualmente, esta ganadería se da de forma intensiva, lo cual conlleva a la incrementación del tamaño de las instalaciones para aumentar la producción

y, a su vez, los residuos generados, donde la cantidad del suelo disponible es limitado. Es decir, que esta explotación ganadera se ha desligado de la explotación agrícola, y en estas zonas de producción se dan una gran cantidad de explotaciones ganaderas que no tienen una base territorial suficiente en la agricultura local en las que se pueda reutilizar estos purines generados (Coma & Bonet, 2004). Además, a estos problemas de suelo, se les añaden factores como el hecho de que la superficie útil ha ido disminuyendo progresivamente debido al crecimiento urbanístico y de infraestructura o al abandono de tierras marginales, mientras que se ha dado un crecimiento del ganado porcino (Marín & Marín, 2009).

Como se ha mencionado previamente, esta alta generación de purines en zonas concretas, la acumulación que se pueda dar y el uso de este pueden causar graves problemas de contaminación del suelo, de las aguas tanto subterráneas como superficiales y de la atmósfera al emitir gases, olores, polvo o ruido (Moreno et al., (2016). En el caso de las contaminaciones relacionadas con el suelo, estas están relacionadas con la aplicación de cantidades muy altas de nutrientes o de componentes de metales pesados o compuestos xenobióticos, lo cual también puede acabar afectando a las aguas subterráneas. Este peligro de exceso está relacionado con que los estiércoles y purines aplicados al suelo no son fertilizantes equilibrados, por lo que se puede producir un exceso de ciertos nutrientes; pero en el caso de los metales pesados, la contaminación se debe a su carácter acumulativo y diversos compartimentos del medio ambiente y la posible entrada en la cadena alimentaria.

Por otra parte, la contaminación del agua se puede dar por la escorrentía directa tras la aplicación de estiércol, lo cual produce un exceso de aplicación de nutrientes o con fugas durante el almacenamiento del estiércol (Hernández, (2006). La carga orgánica que se genera alcanzará las aguas superficiales, y es por ello que en la mayoría de países existe una normativa que regula el tiempo adecuado para la aplicación. En el caso de España, esta normativa se encuentra recogida dentro del Real Decreto 261/1996, en la que se comenta lo fundamental que es tener en cuenta la cantidad de purín que se vierte, el tipo



de suelo al que se aplica, las propiedades físicas de este y, por último, la contaminación del aire que se produce durante el almacenamiento o en la aplicación agrícola, donde también se da el olor o el polvo.

Para intentar prevenir y controlar estos posibles efectos perjudiciales de la contaminación por purines se elaboró la Ley 16/2002, que tiene por objetivo evitar, reducir y controlar la contaminación de la atmósfera, del agua y del suelo. En esta ley se obliga a los titulares de explotaciones ganaderas con más de 2.000 plazas de cerdos de cría y 700 para cerdas, a disponer de autorización integrada y cumplir las condiciones establecidas en la misma. Dentro de esta autorización se deberán detallar aspectos como los valores límites de emisión de sustancias contaminantes y los procedimientos y los métodos que se vayan a emplear para la gestión correcta de los residuos generados en la instalación.

A pesar de los inconvenientes mencionados que genera el purín al medioambiente, actualmente se considera que el aprovechamiento agrícola de este es la opción más adecuada, tanto desde el punto de vista técnico como económico y ambiental debido a su composición, capacidad depuradora del suelo y coste tecnológico de su tratamiento. El purín contiene un elevado valor fertilizante, lo cual puede ser una alternativa de bajo coste respecto a otros fertilizantes de origen mineral y orgánico, además de aportar materia orgánica al suelo, siendo un factor importante en zonas de climatología árida o semiárida como España (Moreno et al., (2016). Al reutilizar este purín se recuperan nutrientes y materia orgánica que este tiene, y que de otro modo se perdería, sumado al hecho de ser una práctica más sostenible que el uso de fertilizantes químicos, ya que estos últimos tienen un proceso de fabricación con un coste energético alto.

2. Objetivos

2.1. Objetivo general

El objetivo general de este trabajo final de grado es evaluar los efectos de diferentes fertilizantes orgánicos: fangos de depuradora, purines de cerdo y residuos sólidos urbanos (RSU) o compost, versus un fertilizante mineral estándar en el crecimiento vegetal, contenido de lípidos, azúcares y clorofilas. Los cultivos estudiados son la lechuga (*Lactuca sativa* L., cv. Maravilla) y el rabanito (*Raphanus sativus* L cv. Redondo rojo).

2.2. Objetivos específicos

La definición de objetivos específicos servirá para alcanzar el objetivo general, y los que se plantean en este trabajo son los siguientes:

- Analizar la evolución del crecimiento del cultivo
- Estimar la biomasa producida
- Cuantificar el contenido de clorofila a, b y total de los cultivos
- Evaluar el contenido de lípidos e hidratos de carbono

3. Material y métodos

3.1. Localización e instalaciones

El trabajo se realizó en una de las parcelas de “Agròpolis”, la unidad científico-técnica de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) y que se ubica en el término municipal de Viladecans (Baix Llobregat), en el Camino de las Filipinas, 110 (41°17'19.1"N 2°02'43.4"E). En la figura 3.1 se muestra una imagen del terreno utilizado para el trabajo.



Figura 3.1 Imagen del terreno que se utilizó para el desarrollo del trabajo.

3.1.1. Características del suelo

En la tabla 3-1 se recogen las características físico-químicas más relevantes del suelo, ya que estas ayudarán a determinar el estado del terreno donde se realizará el cultivo, y por ende, a poder detectar posibles limitaciones, carencias o excesos de nutrientes, entre otros posibles problemas. Analizando de manera más detallada la información que ofrece la tabla 3-1, se puede observar que la composición granulométrica del suelo, una vez medidos los porcentajes de arena, limo y arcilla, corresponde a una textura franca.

Por otra parte, el valor del pH, que mide la concentración de hidrogeniones (H^+), es de 8,48, por lo que es un valor superior al intervalo de neutralidad 6,5-7,5. Teniendo en cuenta que es un terreno ligeramente básico, este pH podría acarrear posibles problemas de absorción de hierro para las plantas. En lo que respecta a la conductividad eléctrica, no es limitante para el desarrollo de los cultivos. En cambio, no se podría decir lo mismo de la cantidad de materia orgánica, ya que tal como se muestra en la analítica, esta tiene niveles bajos. La determinación de estos parámetros del análisis de suelo fue realizada en el laboratorio de la empresa Eurofins Agroambiental, S.A.

Tabla 3-1 Características principales del terreno empleado en el trabajo.

Análisis	Resultados	Interpretación
Textura	Franca (40 % arena, 16,2% Limo grueso, 19% Limo fino y 24,8 % Arcilla)	Suelo Franco
pH	8,48	Ligeramente alcalino
Conductividad eléctrica (CE)	0,240 dS/m	No limitante
Humedad	1,33 %	
Materia orgánica	1,27 % s.m.s.	Baja
N total	0,089 % s.m.s.	Medio-bajo
Fósforo (P)	33 mg/kg s.m.s.	Alto
Carbonato cálcico equivalente	28 % s.m.s.	Muy calcáreo
Calcio (Ca)	7014 mg/kg s.m.s.	Alto
Magnesio (Mg)	362 mg/kg s.m.s.	Alto
Sodio (Na)	91 mg/kg s.m.s.	Normal
Potasio (K)	344 mg/kg s.m.s.	Alto

3.1.2. Riego

El ensayo se realizó con riego por goteo, abastecido con agua de pozo de la propia finca. Los parámetros fisicoquímicos más relevantes del agua de riego se hallan descritos en la tabla 3-2, donde queda reflejada la conductividad eléctrica del agua (1,7 dS/m), que podría limitar la absorción de nutrientes de los cultivos, puesto que su tolerancia a la salinidad se encuentra por debajo, según Maas & Hoffman (1977). Cotejando el resultado de la relación de absorción de sodio (SAR) con la tablas de clasificación de las aguas de riego según el riesgo de sodificación propuesta por Allison & Richards (1954), se encuentra dentro del tipo S2 con un riesgo de sodificación moderado. El pH del agua de riego es de 7,9, parámetro que se traduce como un pH ligeramente alcalino.

El sistema de riego utilizado fue la cinta de riego por goteo AQUA-TRAXX (TRO) (figura 3.2), de un caudal de gotero de 1,14 L/h y una separación entre goteros de 20 cm. La analítica del agua de riego fue proporcionada por la unidad científico-técnica de la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).



Figura 3.2 Cinta de riego utilizada en el trabajo

Tabla 3-2 Características principales del agua de riego utilizada para el trabajo.

Parámetro	Símbolos	Unidades	Resultado
Salinidad			
Conductividad a 25	CE	dS/m	1,724
Total de solidos disueltos	TSD	mg/L	1103
Cationes y Aniones			
Calcio	Ca ²⁺	meq/L	2,014
Magnesio	Mg ²⁺	meq/L	2,534
Sodio	Na ⁺	meq/L	10,414
Bicarbonatos	HCO ₃ ⁻	meq/L	4,672
Cloro	Cl ⁻	meq/L	9,790
Sulfatos	SO ₄ ²⁻	meq/L	2,399
Nutrientes			
Nitrógeno-Nitratos	N-NO ₃ ⁻	meq/L	0,016
Nitrógeno-Amoniacal	N-NH ₄ ⁺	meq/L	0,069
Fósforo total	P	meq/L	0,002
Fosfatos	PO ₄ ⁻	meq/L	0,001
Potasio	K ⁺	meq/L	0,466
Otros			
Boro	B	mg/L	0,34
Acides / Alcalinidad	pH		7,9
Relación absorción de sodio	RAS		7

3.1.3. Condiciones meteorológicas

La temperatura media diaria durante el desarrollo del trabajo fue de 14,3 °C; se alcanzaron temperaturas máximas diarias por encima de 20 °C y temperaturas mínimas de 9 °C. Las precipitaciones durante el tiempo que duró el trabajo en el campo quedan recogidas en la figura 3.3, donde en días puntuales se alcanzaron acumulaciones diarias de alrededor de 45 mm, siendo el mes de mayo el que contó con una mayor concentración de lluvias.

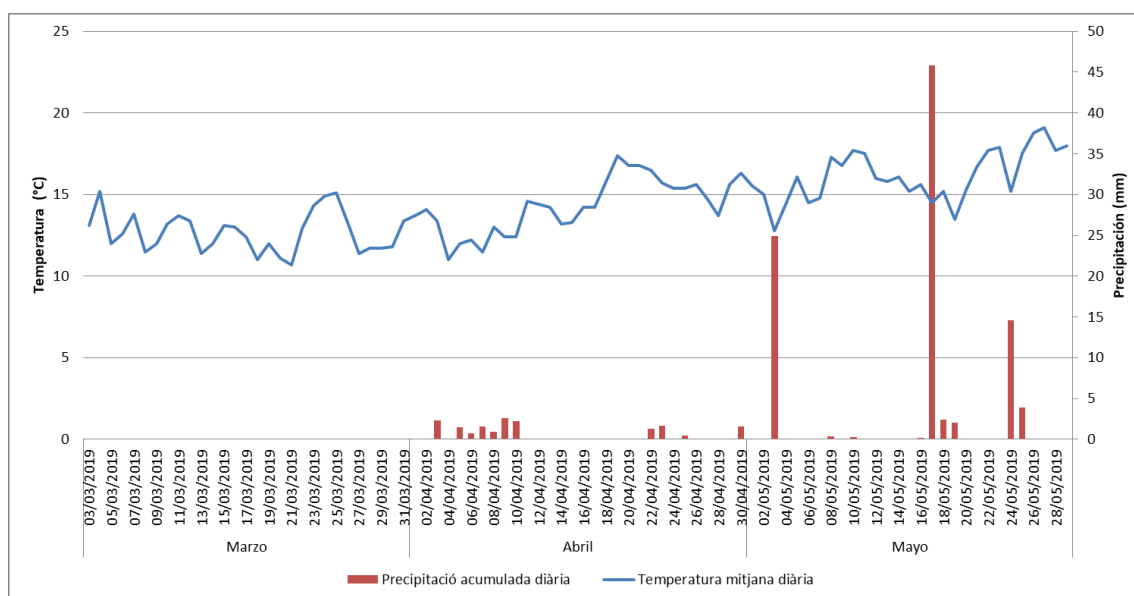


Figura 3.3 Temperaturas medias y precipitación acumulada diaria durante el periodo de cultivo.

Extraído de: Estación meteorológica Viladecans (Meteocat).

3.2. Material vegetal

En este trabajo se han estudiado dos tipos de cultivos hortícolas diferentes: uno de hoja, la lechuga (*Lactuca sativa* L.; var. Maravilla), implantado en formato de taco proveniente de la empresa Jordi Planters de Viladecans, y uno de raíz, el rabanito (*Raphanus sativus* L.; var. Redondo rojo), de semillas FITÓ. Para el cultivo de lechuga se emplearon 504

plántulas, en cambio para el cultivo de rabanito se emplearon 200 gramos de semillas (figura 3.4).

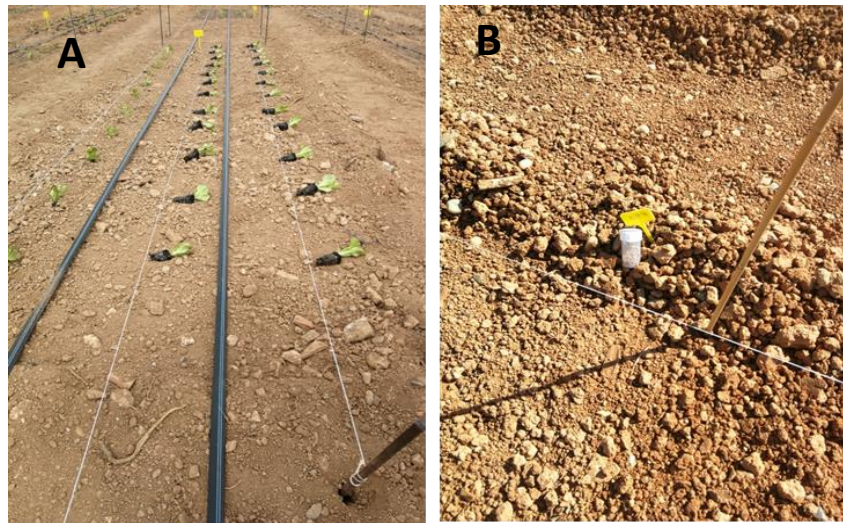


Figura 3.4 Material vegetal utilizado para el experimento. A) Plantel de lechuga. B) Semillas de rabanito

3.3. Fertilizantes

En el desarrollo de las pruebas se utilizaron tres tipos de fertilización orgánica y una fertilización mineral.

Los fertilizantes aplicados en ambos experimentos, tanto en el de la lechuga como en el de rabanito, fueron los siguientes:

- Fertilizante mineral:

- Nitrato amónico (34% N)
- Superfosfato (43,6 % P_2O_5)
- Sulfato potásico (54 % K_2O)

- Fertilizantes orgánicos:

- Purines de lechones de engorde (6-20 kg).
- Fangos de l'EDAR El Prat dispuestos para ser empleados en la agricultura

- Fracción orgánica de residuos sólidos urbanos (RSU) de la planta de compostaje de Torrelles del Llobregat. Este compost está compuesto de tres fracciones orgánicas diferentes, como son: restos de poda de municipios colindantes, fragmentos vegetales de cocina y restos vegetales de Mercabarna.

Los análisis de los fertilizantes orgánicos purines de cerdo y residuos sólidos urbanos fueron realizados por Eurofins Ambiental, S.A.; en cambio, el análisis del fango de depuradora fue realizado por el laboratorio y asesoría IPROMA. En las tablas 3-3 y 3-4 se recogen los parámetros más importantes de las analíticas.

Las diferentes dosis de fertilizantes utilizados se describen en el apartado 3.6.1.

Tabla 3-3 Resumen de las características principales de los fertilizantes orgánicos: Purín de cerdo y compost. % sms= sobre materia seca.

	Purines de cerdo	RSU (Compost)
Materia seca 105 °C	29	88,8
Nitrógeno Kjeldah	3,14	2,71
Nitrógeno orgánico	2,8	2,46
Nitrógeno amoniacal	0,34	0,25
Fósforo (P)	0,98	0,52
Potasio (K)	0,99	2,51

Tabla 3-4 Resumen de las características principales de fertilizante: Fangos de depuradora

	Fangos	
pH	8,3	Unidad pH
Materia seca	28	%
Relación C/N	7	
Calcio total (CaO)	80,276	mg/Kg s.m.s. CaO
Magnesio total (MgO)	12,241	mg/Kg s.m.s. MgO
Nitrógeno	4,8	% s.m.s. N
Nitrógeno amoniacal	1,5	% s.m.s. NH ₄
Potasio (K ₂ O)	6,268	mg/Kg s.m.s.
Fósforo (P ₂ O ₅)	40,235	mg/Kg s.m.s.
Materia orgánica total	55	% s.m.s.
Cobre	370	mg/Kg s.m.s.
Zinc	978	mg/Kg s.m.s.
Cadmio	<2,0	mg/Kg s.m.s.
Cromo	106	mg/Kg s.m.s.
Mercurio	1,5	mg/Kg s.m.s.
Níquel	88	mg/Kg s.m.s.
Plomo	70	mg/Kg s.m.s.
Hierro	22,96	mg/Kg s.m.s.
<i>Escherichia coli</i>	400.000	UFC/g
<i>Salmonella sp.</i>	Presencia	/25g

3.4. Tratamiento del experimento

Tal como ya se ha dicho, el trabajo se realiza con dos especies vegetales diferentes (lechuga y rabanito) y 4 tipos diferentes de fertilizantes, de los cuales se realizan 4 subparcelas para cada dosis de fertilizante. Los tratamientos estudiados se muestran en la figura 3.5.

En el cultivo de lechuga se emplearon un total de 504 plántulas, de las cuales 432 fueron utilizadas para los tratamientos de compost, fangos y mineral (144 por cada fertilizante), pero para la prueba de purines de cerdo sólo se emplearon 72 (proporcionales a la superficie correspondiente para la dosis utilizada, a la cantidad de purín disponible). Por otro lado, para el cultivo de rabanito se emplearon 200 gramos de semillas, distribuidos equitativamente para las 16 subparcelas de la prueba.

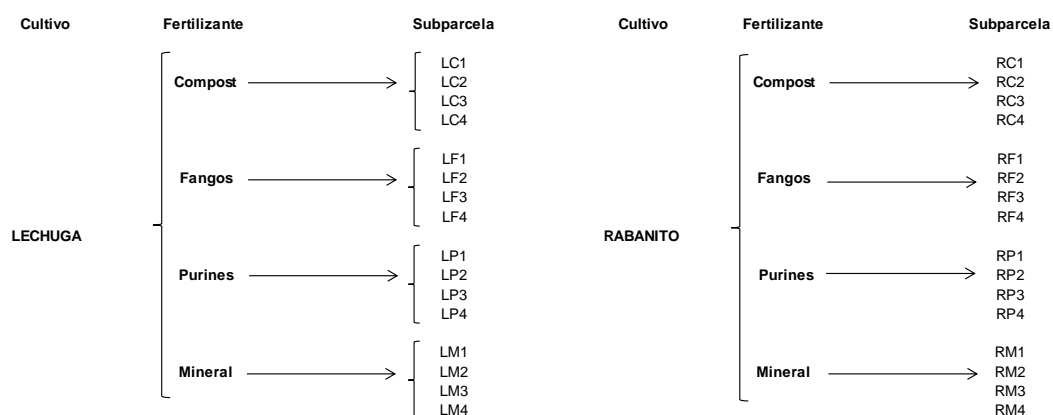


Figura 3.5 Designación de las subparcelas de los diferentes tratamientos

3.5. Diseño experimental

3.5.1. Dosificación de los fertilizantes

El diseño del plan de fertilización de ambos cultivos (lechuga y rabanito) con los diferentes tratamientos se llevó a cabo utilizando las extracciones del cultivo descritas por Pomares & Ramos (2010): N= 80-100 kg/ha, P_2O_5 = 30-50 kg/ha y K_2O = 160-210 kg/ha para el cultivo de lechuga y en el caso de rabanito N=80 kg/ha, P_2O_5 =30 kg/ha y K_2O =90 kg/ha. Utilizando como punto de partida las extracciones del cultivo y teniendo en cuenta la riqueza de nutrientes de cada fertilizante, se calculó la cantidad de abono a incorporar al suelo en cada subparcela. En la tabla 3-5 se reúnen las dosis de los fertilizantes aplicados al suelo.

En lo que respecta a los tratamientos orgánicos, el ajuste de la cantidad a aplicar en cada uno de ellos se realizó a partir de su contenido en nitrógeno amoniacal. Los detalles de los cálculos y las dosis aportadas en los tratamientos orgánicos y mineral se detallan en el anexo A.

Tabla 3-5 Dosis de los fertilizantes aplicados al suelo.

	Lechuga		Rabanito	
RSU compost	26	kg compost seco	9	kg compost seco
Fangos de depuradora	18	kg fango fresco	5,5	kg fango fresco
Purines de cerdo	12	L purín fresco	5	L purín fresco
Abono mineral	353	g Nitrato amónico	113	g Nitrato amónico

3.5.2. Distribución de los tratamientos y repeticiones

La distribución de las subparcelas de lechugas y rabanitos se realizó de manera aleatoria dentro de cada parcela. En la figura 3.6 se muestran las dos parcelas y el lugar que ocupa cada subparcela, dentro de cada localización.

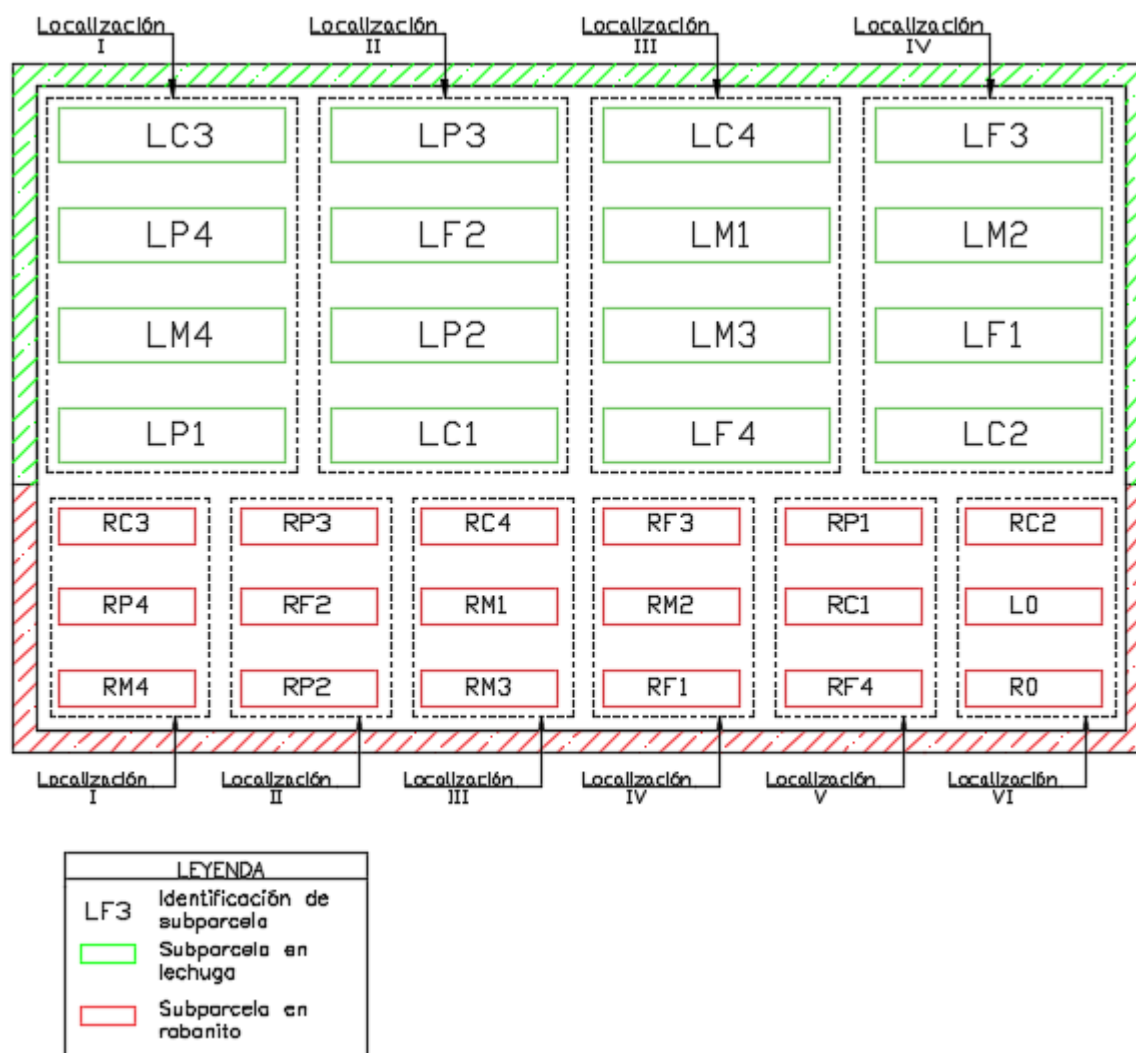


Figura 3.6 Designación de las parcelas y localización de las subparcelas.

3.5.3. Preparación de parcelas de cultivo

Como se ha comentado previamente, el trabajo se llevó a cabo en una de las parcelas de Agrópolis de 340 m², que se dividió en dos partes; una de ellas se utilizó para el cultivo de lechuga (211 m²) y la otra para el cultivo de rabanito (129 m²). En ambos casos, estas parcelas se dividieron en 16 subparcelas, de 6 m² para las lechugas y de 2.4 m² para los rabanitos.

Las operaciones de cultivo realizadas fueron:

1. Limpieza y trabajo mecánico de la parcela (pasadas de fresadora)
2. Triangulación del campo
3. Delimitación de los márgenes exteriores del campo
4. Delimitación de cada subparcela
5. Aplicación e incorporación de los fertilizantes
6. Instalación del sistema de riego
7. Plantación de lechuga
8. Siembra de rabanito
9. Aclarado de rabanito (plantas a 10 cm)
10. Colocación de red anti-pájaros en el cultivo de rabanito
11. Control periódico de hierbas adventicias
12. Abonado de cobertera mineral
13. Cosecha

Hay que destacar que no se necesitó aplicar ningún tratamiento fitosanitario. En el anexo B se ha hecho un recopilatorio de imágenes sobre las diferentes operaciones de cultivo. En el anexo C se recopilan los croquis utilizados para la realización del trabajo.

3.5.4. Duración y condiciones del cultivo

En la tabla 3-6 se recogen datos relativos a los ciclos de los cultivos. Una vez incorporados los fertilizantes, tanto los orgánicos como los inorgánicos, y distribuidos de manera



homogénea, se procedió a la implantación de ambos cultivos. La plantación de lechuga se realizó el 3/04/2019 y la siembra de rabanito el 08/04/2019. Como se ha dicho en el apartado 3.2, el plantel de lechuga de la empresa Jordi Planters de Viladecans, donde se han cultivado en bandejas de porexpán expandido con turba y perlita. En el momento de la plantación las plantas tenían de cuatro a seis hojas.

Para el cultivo de rabanito se utilizaron 200 gramos de semillas, que se distribuyeron equitativamente entre las 16 subparcelas (5,2 g/m²). Pevio a la siembra del rabanito, en cada subparcela se abrió un pequeño surco de aproximadamente 5 cm de profundidad después sembrar y cubrir la tierra levantada.

Tabla 3-6 Datos de los ciclos de lechuga y rabanito.

	Lechuga	Rabanito
Plantación / Siembra	3/04/2019	08/04/2019
Cosecha	29/05/2019	15/05/2019
Duración del cultivo (días)	56	37
Segunda dosis de abono mineral	16/05/2019 (43 días)	9/05/2019 (31 días)
Promedio de temperatura máximas (°C)	20,1	19,8
Promedio de temperaturas mínimas (°C)	9,1	8,7
Humedad relativa (%)	70,1	68,8
Pluviometría total (mm)	111,9	42,8

3.6. Determinación de biomasa

Durante el ciclo vegetativo del cultivo se llevó un seguimiento semanal de los cultivos; este se realizó a través de tres medidas de desarrollo vegetativo:

1. Número de hojas por planta
2. Longitud de la hoja más alta (cm)
3. Diámetros de la planta perpendiculares entre sí, diámetro 1 (d1) y diámetro 2 (d2), en cm (sólo en lechugas).

De estas 3 medidas de carácter cuantitativo mencionadas, sólo dos se han aplicado a ambos cultivos, ya que la tercera no se aplicó al cultivo de rabanitos por no considerarse relevante el tipo de volumen de su parte aérea.

3.7. Determinación de clorofilas de lechuga

La estimación de clorofila de la lechuga se realizó con el aparato OPTI-SCIENCES CCM-200 (Chlorophyll Content Meter, unidades CCI) (Silla et al., 2010). Las lecturas se hicieron en tres posiciones diferentes en la superficie de las hojas (exterior, medio e interior). De cada posición se recogieron 3 lecturas, y este procedimiento se aplicó sobre un total de 80 plantas, 5 por cada repetición de cada fertilizante. Los valores obtenidos de las lecturas se transformaron a los valores de clorofilas (clorofila a, clorofila b y clorofila total) utilizando las ecuaciones obtenidas por Nadal (2015).

3.8. Determinación de clorofilas de rabanito

En el caso de los rábanos, se siguió el mismo método de determinación de clorofilas de la lechuga (3.7), pero debido a su menor tamaño de hoja se tomaron las 3 lecturas con el medidor de contenido de clorofila - 200 (CCM-200) en sólo dos posiciones del haz de las hojas (exterior y media), valorándose un total de 192 plantas (12 plantas por cada subparcela). Los valores de lectura obtenidos se transformaron en cantidad de clorofila

(a, b y total) una vez obtenidas las ecuaciones correspondientes a la relación lectura de CCM-200 y clorofila (3-1,3-2 y 3-3), tal como se describe a continuación.

3.8.1. Estimación de las clorofilas con el aparato OPTI-SCIENCES CCM-200

La evaluación de clorofila del cultivo de rabanito se realizó utilizando material vegetal de la misma parcela donde se desarrolló el cultivo. Se usaron 30 plantas con hojas de diferentes tonalidades y se realizaron lecturas en distintas partes, para valorar todo tipo de contenidos.

Los valores obtenidos con el medidor de contenido de clorofila (CCM-200) se podrán vincular más adelante con los valores obtenidos de la extracción de clorofila mediante la técnica de espectrofotometría.

Para poder realizar las valoraciones por espectrofotometría, en el momento de medir con el CCM-200 se marcó con un rotulador el de la muestra y se enumeró la lectura, para *a posteriori* realizar una extracción de este área y poder cuantificar la concentración de clorofila (mediante un espectrofotómetro), tal como se muestra en la figura 3.7.



Figura 3.7 Toma de datos del material vegetal para el análisis de contenido de clorofila en rabanito.

3.8.2. Extracción y cuantificación de clorofilas

Una vez tomado el valor con el CCM-200 se procedió a la extracción del área vegetal de donde se había tomado la lectura, previamente señalizada tal como muestra la figura 3.6. Este área extraída tenía una superficie de $1,77 \text{ cm}^2$, la misma que después se depositó en tubos de ensayo envuelto en papel de aluminio, como muestra la figura 3.8. Dentro de los tubos se añadió una solución del disolvente N, N dimetilformamida. Después de este procedimiento se procedió a tapar los tubos y ponerlos durante 48 horas dentro de una cámara frigorífica a 4°C .



Figura 3.8 Extracción de clorofila de rabanito

Una vez acabada la fase de disolución de las clorofilas, se pasó al espectrofotómetro para medir la absorbancia a diferente longitud de onda (647 nm y a 664,5 nm). Aplicando los

coeficientes de extinción propuestos por Inskeep & Bloom (1985), se pudo llegar a determinar la concentración de clorofila a, clorofila b y clorofila total en cada muestra.

$$\text{Clorofila } b = (20.70 * Abs_{647}) - (4.62 * Abs_{664.5}) \quad (3-1)$$

$$\text{Clorofila } a = (12.70 * Abs_{664.5}) - (2.79 * Abs_{647}) \quad (3-2)$$

$$\text{Clorofila total} = (17.90 * Abs_{647}) + (8.08 * Abs_{664.5}) \quad (3-3)$$

Una vez medida la absorbancia se secaron las áreas extraídas en una estufa a 60 °C durante 24 horas (figura 3.9) y se pesaron, para poder expresar los resultados en miligramos de clorofila por unidad de superficie



Figura 3.9 Determinación del peso seco de los discos de rabanito

3.9. Determinación de lípidos e hidratos de carbono

3.9.1. Preparación de las muestras

Recogidas y enumeradas las plantas seleccionadas del campo de los cultivos de lechuga y rabanito se trasladaron a los laboratorios del IDAEA-CSIC para ser trituradas. Una vez

trituradas, se obtuvieron 16 tubos falcons de muestras de lechuga, uno por cada subparcela. El mismo procedimiento pasaron las plantas seleccionadas del cultivo de rabanito. Las muestras se congelaron para luego poder realizar un análisis de lípidos e hidratos de carbono.

Una vez sacado el material vegetal del congelador y pasado un tiempo de descongelación, se pesó una cantidad de 3 gramos de muestra por tubo falcon, previamente restada la tara de este. Seguidamente, se pasó a poner las muestras en una estufa modelo HRGC-5300 a una temperatura de 120 °C durante un periodo de 24 horas (figura 3.10); transcurrido este lapso de tiempo el material vegetal alcanzó un peso estable. Cabe señalar que los tubos se metieron con papel de plata recubriendo la parte superior sustituyendo a los tapones, con la finalidad de favorecer la evaporación.



Figura 3.10 Preparación de muestras para ser secadas.

3.9.2. Extracción de lípidos e hidratos de carbono

La extracción de lípidos e hidratos de carbonos se realizó siguiendo la metodología descrita por Margenat (2018).

Extraídas las muestras de la estufa, se añadieron 15 ml de disolvente orgánico a cada

muestra: una mezcla de Etanol/Hexano en proporción (1:1, v/v) (Figura 3.11). Introducido el disolvente dentro de las muestras, se colocaron los tubos falcon dentro del ultrasonido (Bandelin sonorex digiplus DL 156 BH) durante 15 minutos, con la finalidad de facilitar la separación de los lípidos e hidratos de carbono de la materia vegetal seca. Posteriormente se introdujeron los tubos dentro de una centrifugadora a 1500 rpm durante 15 minutos para decantar la parte sólida de las muestras vegetales.



Figura 3.11 Adición del disolvente a las muestras de rabanito y lechuga

A continuación se extrajo el líquido de los tubos con la ayuda de una jeringuilla, succionando la mayor cantidad de líquido posible sin arrastrar materia sólida (Figura 3.12), y se pasó el líquido a través de un filtro de nylon de 0,22 μm para depositarlo en un bote de cristal. Tanto el bote de cristal como el filtro se pesaron previamente. A continuación se puso a secar y evaporar el líquido de los botes, quedando dentro del envase la concentración de lípidos y atrapada en los filtros la de hidratos de carbono (Figura 3.13). Para favorecer la evaporación y el secado de los botes y filtros, estos se colocaron en una placa caliente y se les aplicó gas nitrógeno.

Con la ayuda de una balanza de precisión Sartorius CP225D se verificó el peso constante de los envases y filtros, constatando así que el proceso de evaporación y secado había finalizado.

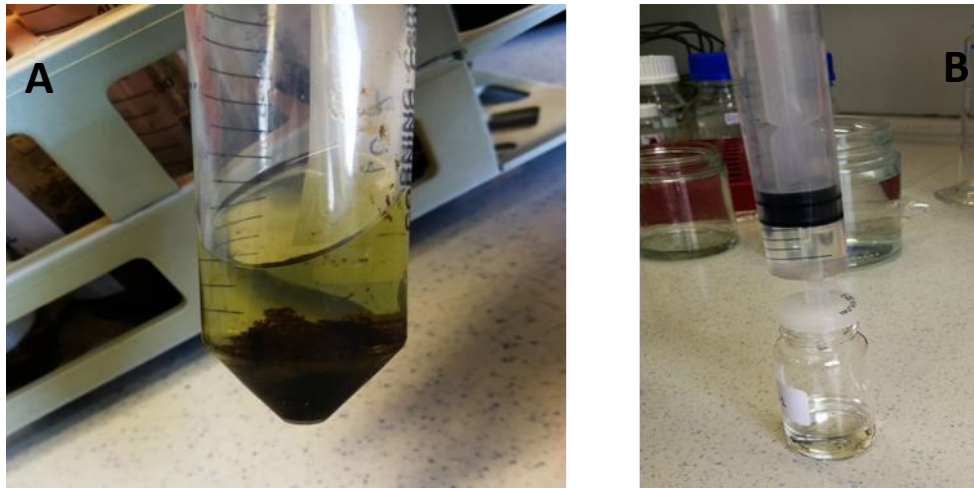


Figura 3.12 A) Muestra de material vegetal después de haber pasado por el ultrasonido y la centrifugadora. B) Muestra vegetal pasando por el filtro.

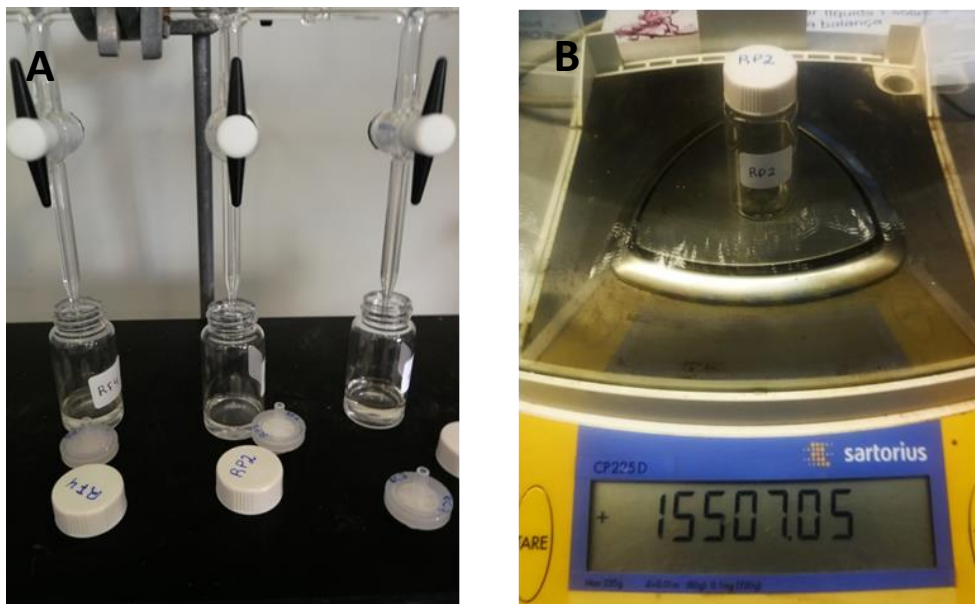


Figura 3.13 A) Secado de muestras mediante nitrógeno y placa de calor. B) Peso de la muestras después del secado.

3.9.3. Cuantificación del contenido en lípidos e hidratos

Conocidos los pesos iniciales y finales de los botes y filtros, así como la cantidad añadida de muestra vegetal, se calculó el contenido en porcentaje del peso de hidratos de carbono y lípidos. Las ecuaciones utilizadas fueron:

$$\% \text{ Lípidos} = 100 \times \frac{\text{Peso filtro (mg)} - \text{Peso filtro inicial (mg)}}{\text{Muestra vegetal añadida (mg)}} \quad (3-4)$$

$$\% \text{ Hidratos de carbono} = 100 \times \frac{\text{Peso tubo final (mg)} - \text{Peso tubo inicial (mg)}}{\text{Muestra vegetal añadida (mg)}} \quad (3-5)$$

3.10. Análisis estadístico

Los datos obtenidos de las diferentes muestras recogidas se analizaron estadísticamente. En primer lugar, se realizó un resumen estadístico descriptivo y gráfico de los datos; en segundo lugar se aplicó ANOVA para valorar si había diferencias significativas entre tipos de tratamientos (fertilizantes). Para poder llevar a cabo la ANOVA y su correspondiente separador de medias Tukey, previamente se comprobó si los datos cumplían los requisitos de normalidad de las variables y homogeneidad de variancias de los distintos grupos que se quería comparar. En caso de no cumplirse el requisito de varianzas iguales se realizará un test de Welch-ANOVA, que no requiere de este supuesto de variabilidad homogénea entre grupos y su separador de medias Games-Howell. En todas pruebas se trabajó con un nivel de significación de $\alpha = 0,05$.

Para el análisis de la clorofila en rabanito se aplicó un análisis de regresión lineal simple, con el propósito de analizar la posible relación lineal entre las variables CCM y contenido de clorofila mg/cm^2 .

Los resultados obtenidos fueron analizados estadísticamente usando Minitab 18 para Windows.

Las variables analizadas en el cultivo de lechugas fueron:

- Longitud y número total de hojas
- Diámetros de las hojas
- Volumen y forma de las lechugas
- Biomasa final (Biomasa fresca, seca y porcentaje de humedad)
- Clorofila a, b y total
- Contenido de lípidos e hidratos de carbono

Las variables analizadas en el cultivo de rabanitos fueron:

- Longitud y número total de hojas
- Biomasa final (Biomasa fresca, seca y porcentaje de humedad)
- Clorofila a, b y total
- Contenido de lípidos e hidratos de carbono

4. Resultados

4.1 Lechuga

4.1.1. Longitud y número total de hojas

La recolección de datos se realizó durante un periodo de 7 semanas después del trasplante. El recuento del número de hojas y la longitud de la hoja más larga se realizó siguiendo el procedimiento descrito en el apartado 3.6 de esta memoria. Como podemos observar en la figura 4.1, las longitudes de las plantas se comienzan a diferenciar en el transcurso de la semana cuatro a la cinco, en donde el grupo de fertilizantes compuesto por mineral, purín y fangos de depuradora toma ventaja sobre el compost. En lo que respecta al número de hojas, no se perciben diferencias de valores entre fertilizantes, pero sí una tendencia lineal de los resultados. Cabe resaltar que las lechugas fertilizadas con compost en ambas variables dan resultados inferiores al resto de fertilizantes; en cambio, las lechugas abonadas con mineral en la octava semana son las que alcanzan sus valores más altos.

En la figura 4.2 se muestra un resumen del análisis descriptivo de los valores del número y longitud total de las hojas en el último día. Respecto al número total de hojas, las medias del fertilizante mineral y purín de cerdo son superiores al resto de abonos. Asimismo, los datos tanto de purín de cerdo como de residuos sólidos urbanos (compost) son simétricos y con menor dispersión. Caso opuesto es el de los valores de fango de depuradora y abono mineral, que son asimétricos.

Por lo que se refiere a la longitud total de las hojas, el compost da valores inferiores a la del resto de fertilizantes (purines de cerdo, fertilizante orgánico, fango de depuradora). La distribución de los valores, tanto de fango de depuradora como de compost es casi simétrica, y tienen una concentración de datos cerca de la media. En cambio, los otros dos fertilizantes tienen una mayor asimetría y una mayor dispersión de datos.

Realizando el test de igualdad de varianza para las diferentes variables, no hay diferencias significativas; por lo tanto, podemos proceder a realizar la ANOVA, donde se muestran diferencias estadísticamente significativas ($p\text{-valor} < 0.05$). Teniendo en cuenta que al menos una de las medias es diferente al resto, se realiza una prueba de Tukey, recogida en la tabla 4-1.

Número total de hojas

- Las medias de los purines de cerdo y fertilizante mineral son de las más altas. No obstante, la media de éste último también se encuentra relacionada con la media de los fangos de depuradora. El promedio de los fangos se encuentra vinculado con la media del compost. En la tabla 4-1 se puede observar que la media del número de hojas es mayor con el tratamiento purín y muy inferior con compost.

Longitud de las hojas

- Los resultados expuestos en la tabla 4-1 revelan que no existen diferencias significativas entre las longitudes de las hojas más largas de los tratamientos de purines, fango y fertilizante mineral, dado que sus medias son análogas entre sí; en cambio, la longitud media en el caso del compost es inferior.

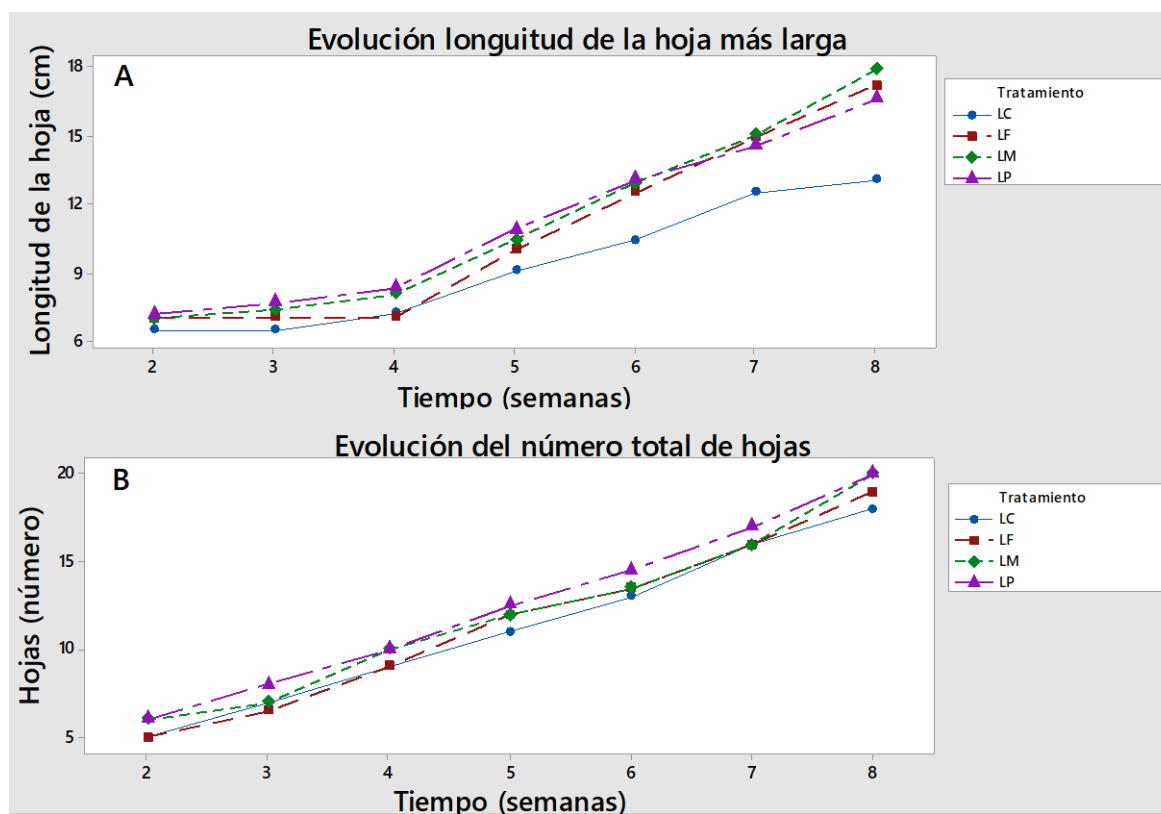


Figura 4.1 A) Evolución de la longitud de la hoja más larga y B) el número total de hojas, según tratamiento para el cultivo de lechuga (LC: Compost; LF: Fangos; LM: Mineral; LP: Purín).

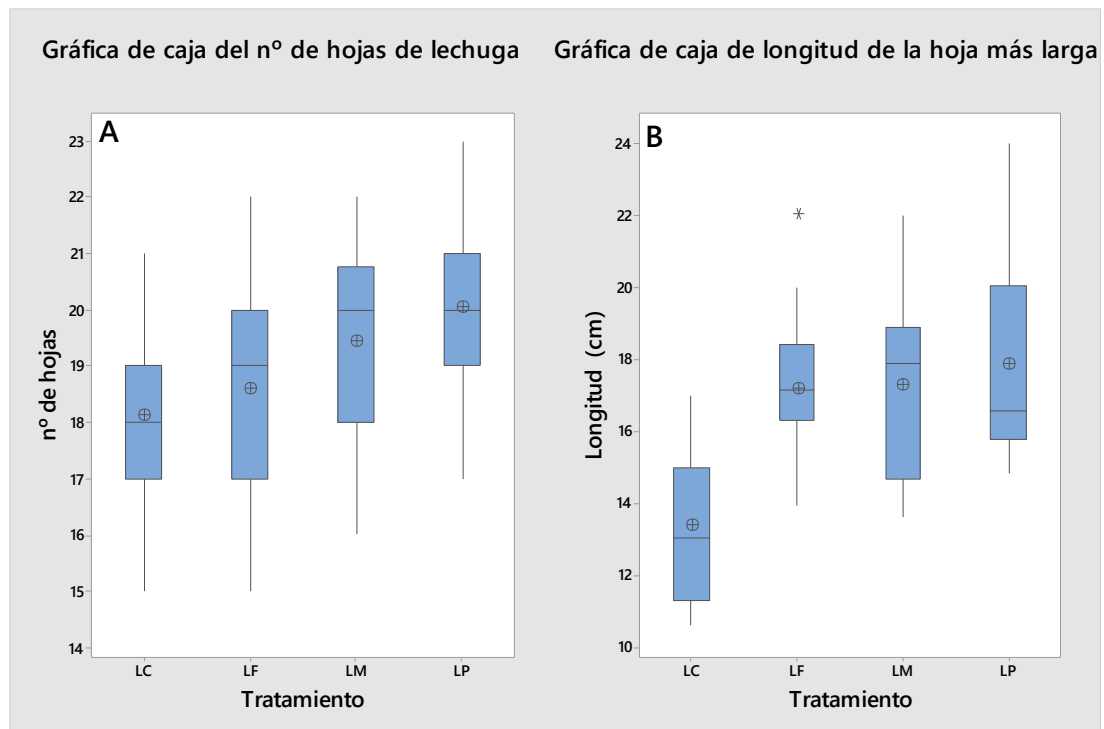


Figura 4.2 A) Diagramas de caja del número total de hojas y B) longitud de la hoja más larga en lechuga, según tratamiento, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-1 Resultado de la determinación del número total hojas y longitud total de la hoja más larga de lechuga.

Tratamiento	Número total de hojas	Longitud total de hojas (cm)
Purines de cerdo	20,0 ± 1,6 ^a	17,9 ± 2,9 ^a
Abono mineral	19,4 ± 1,5 ^{ab}	17,3 ± 2,5 ^a
Fango de depuradora	18,6 ± 1,6 ^{bc}	17,2 ± 1,9 ^a
Compost	18,1 ± 1,4 ^c	13,3 ± 2,2 ^b

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.2 Diámetro de las hojas de lechuga

El conjunto de datos recogidos del diámetro de las hojas, como se mencionó en el apartado anterior 3.7, queda comprendido en dos componentes: diámetro 1(d1) y diámetro 2(d2). La figura 4.3 muestra que estos valores d1 y d2 tienen medias similares, con poca diferencia entre fertilizantes. También cabe decir que los promedios con valores más altos vuelven a recaer en los fertilizantes purines, fangos y fertilizante mineral. Cabe destacar que, en su gran mayoría, los datos en ambas variables son asimétricos y muy dispersos.

La comprobación de la existencia de medias diferentes entre diferentes tipos de tratamientos se realizó utilizando un test de ANOVA para la variable d1, puesto que la prueba de igualdad de varianzas no había resultado significativa. Por otro lado, la variable d2 presentó varianzas desiguales; por lo tanto, se empleó un test de Welch's ANOVA. Los resultados de ambas pruebas dieron diferencias estadísticamente significativas (p -valor < 0.05). En la tabla 4-2 se reflejan las agrupaciones de medias con Tukey para la variable d1 y Games-Howell para la d2. Se puede observar que en el compost los diámetros medios son menores que en el resto de tratamientos.

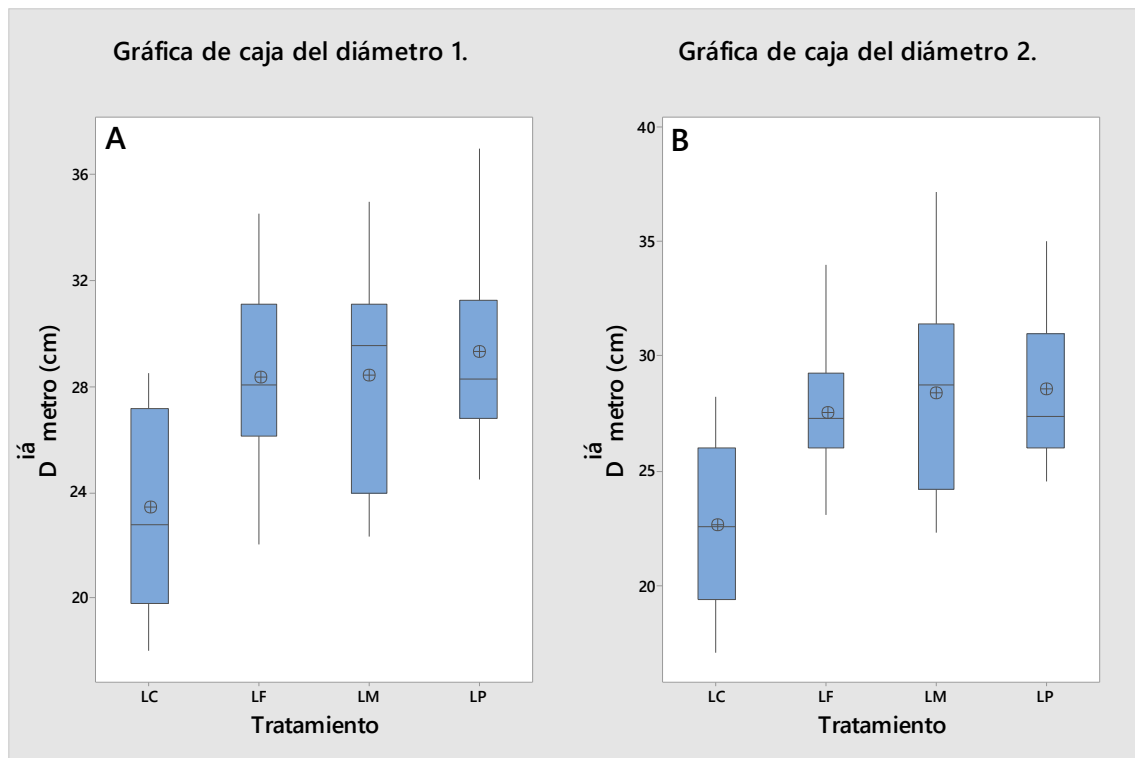


Figura 4.3 A) Diagramas de caja del diámetro 1 y B) diámetro 2, según tratamiento en lechuga, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-2 Resultado de la determinación del diámetro 1 y diámetro 2 de lechuga.

Tratamiento	Diámetro 1 (cm)	Diámetro 2 (cm)
Purines de cerdo	$29,3 \pm 3,8^a$	$28,5 \pm 3,4^a$
Abono mineral	$28,4 \pm 3,9^a$	$28,3 \pm 4,1^a$
Fango de depuradora	$28,3 \pm 3,2^a$	$27,5 \pm 2,5^a$
Compost	$23,4 \pm 3,7^b$	$22,6 \pm 3,6^b$

Los datos se expresan como media \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza) y Games-Howell. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.3 Volumen y forma de las lechugas

En este apartado se analizan las diferencias de volumen y forma entre tratamientos. Para este propósito aceptamos que el volumen de una lechuga guarda semejanza a la figura de un elipsoide, y para comparar la forma de la planta utilizaremos la excentricidad del elipsoide.

La finalidad de generar esta variable es poder identificar diferencias en la forma del volumen de las plantas (cogollo de la lechuga y producto comercial) según los diferentes tratamientos, viendo si se aproxima más a una esfera o a un ovoide. Para la realización de estas aproximaciones se utilizaron los datos de diámetro 1 (d1), diámetro 2 (d2) y longitud de la hoja más larga (L), dado que tienen relación con las longitudes de un elipsoide: ancho, longitud y altura.

Fórmula general

$$Elipsoide = \frac{4}{3} * \pi * R1 * R2 * R3$$

$$Excentricidad = \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)}}{a}$$

Fórmula adaptada

$$Elipsoide = \frac{4}{3} * \pi * \frac{d1}{2} * \frac{d2}{2} * \frac{L}{2} [4-1]$$

$$Excentricidad = \frac{\sqrt{(\frac{d1^2}{2} - \frac{L^2}{2})}}{\frac{d1}{2}} [4-2]$$

Una vez empleada la fórmula del volumen de un elipsoide para observar posibles diferencias entre tratamientos (figura 4.4), podemos decir que el volumen medio del compost es de 4.000 cm³, siendo de los más bajos. En cambio, los volúmenes del resto de tratamientos guardan cierto parecido, dado que las tres medias se mueven entre 7.000-8.000 cm³. Cabe destacar que los tratamientos de purines y fertilizante mineral tienen mayor dispersión de datos y mayor asimetría, características que no se repiten en el tratamiento con fango.

La excentricidad toma valores entre 0 y 1, correspondiendo 0 a los similares a una esfera

y 1 a los de aspecto ovoide. En la figura 4.4 se puede comprobar que el promedio de las plantas tratadas con compost ofrece valores cercanos a 0,82, denotando un aspecto más ovoido que con el resto de tratamientos. Cabe remarcar que se perciben valores atípicos en el tratamiento mineral y en el purín.

En la tabla 4-3 se muestran las medias y desviaciones estándar de los resultados del volumen y la forma, como a la vez los resultados de Games-Howell. Una vez realizada la Welch's ANOVA estas dos pruebas se llevan a cabo, dada la presencia de varianzas desiguales. En los resultados para la variable volumen no se detectan diferencias significativas entre tratamientos fango, purín y mineral, y el tratamiento con compost es el fertilizante que menor masa ha generado. La excentricidad en el caso del compost es mayor que en el resto de tratamientos, dado que su media es mayor. Para el resto de tratamientos no se observan diferencias estadísticas significativas.

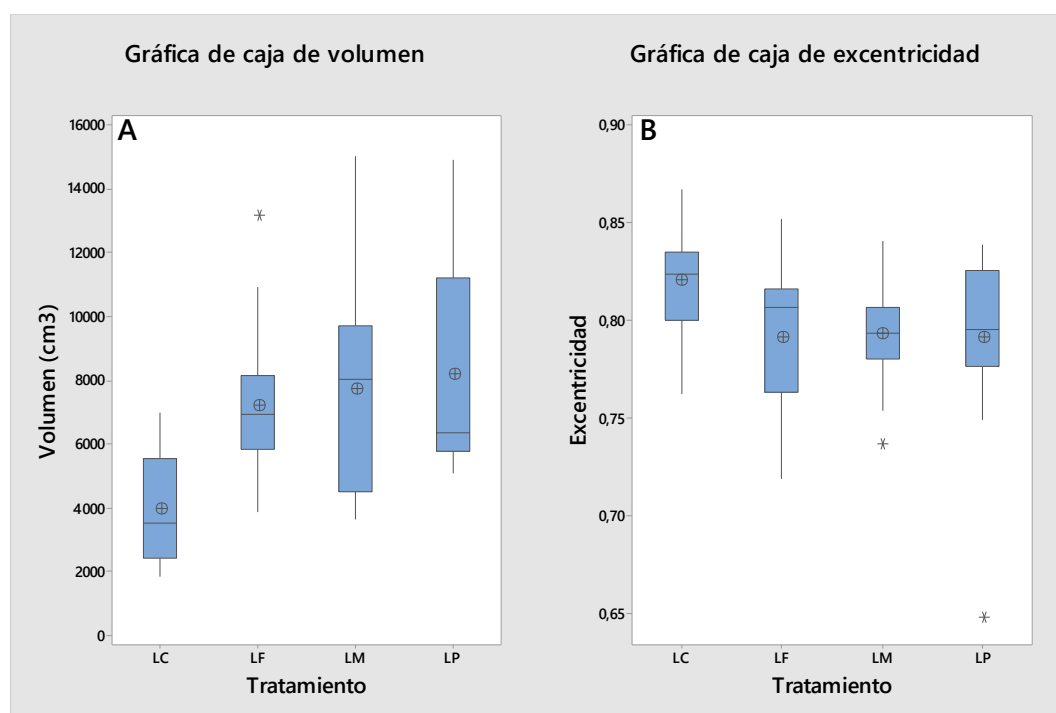


Figura 4.4 A) Diagramas de caja del volumen y B) excentricidad en lechuga, según tratamiento, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-3 Resultado de la determinación del volumen y forma en lechuga.

Tratamiento	Volumen (cm ³)	Excentricidad
Purines de cerdo	8182 ± 3472 ^a	0,79 ± 0,04 ^b
Abono mineral	7685 ± 3040 ^a	0,79 ± 0,02 ^b
Fango de depuradora	7177 ± 2077 ^a	0,79 ± 0,034 ^b
Compost	3950 ± 1761 ^b	0,82 ± 0,03 ^a

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.4 Biomasa final

El análisis de los datos de la biomasa final de las lechugas solo corresponde a la parte aérea de las plantas del estudio.

Desarrollado el análisis estadístico de los diferentes tipos de fertilizantes, se puede constatar que existen diferencias significativas entre los distintos abonos. En los tres parámetros valorados (peso fresco, peso seco y porcentaje de humedad) se obtienen valores p-valor < 0,05, lo cual indica que al menos una de las medias es significativamente distinta al resto. Cabe destacar que los tratamientos con medias más altas son los de purín, fertilizante mineral y fangos; en cambio, el tratamiento con resto de residuos sólidos urbanos (compost) presenta una media inferior al resto.

A continuación se muestra un análisis más detallado de los principales resultados de los distintos tratamientos: peso fresco, peso seco y porcentaje de humedad.

A) Peso fresco

En la figura 4.5 queda representado que el fertilizante con valores más altos es el purín de cerdo, seguido del fertilizante mineral y los fangos de depuradora; por ende, estos tres han generado mayor cantidad de biomasa fresca. En cambio, las plantas tratadas con el fertilizante de residuos sólidos urbanos (compost) son las que menos biomasa han generado, dando como resultado una media inferior. Cabe destacar que no se observan valores atípicos y que la distribución de los datos es asimétrica en cada tratamiento.

Realizada la prueba de igualdad de varianzas, la cual demuestra que todas las varianzas son iguales entre sí, se procede a hacer la ANOVA y se obtenido como resultado un p-valor inferior a 0,05. Los resultados de la prueba de Tukey (tabla 4-4) explican que las medias de biomasa fresca producida por los fertilizantes purines de cerdo, fango de depuradora y abono mineral no muestran diferencias significativas, mientras que los residuos sólidos urbanos (compost), son el fertilizante que menos biomasa fresca ha generado.

B) Peso seco

Generado el análisis estadístico descriptivo de los datos de peso seco (figura 4.5), se observa que el tratamiento con compost es el que menor cantidad de biomasa seca ha originado; también se puede verificar que el peso de las lechugas de purines, fangos y mineral es similar.

Dadas varianzas iguales, se pudo realizar una ANOVA de los datos de peso seco y con posteridad la prueba de Tukey (tabla 4-4), con la que se refleja que la media más pequeña pertenece al compost, mientras que las otras tres tienen una semejanza entre sí.

C) Porcentaje de humedad

El porcentaje de humedad más bajo se encuentra en los residuos sólidos urbanos, ya que su promedio es inferior al 93 %, mientras que el del resto de fertilizantes es más elevado,



por encima del 94%. Cabe remarcar que se observan valores atípicos en los datos de fangos de depuradora y fertilizante mineral, tal como se muestra en la figura 4.5.

En este apartado se realiza una prueba de Welch's ANOVA, dado que la variable presenta varianzas desiguales; por ello, también se ha utilizado la Games-Howell. Los resultados vuelven a mostrar (tabla 4-4) que, en el caso del compost, la humedad es inferior al resto de tratamientos.

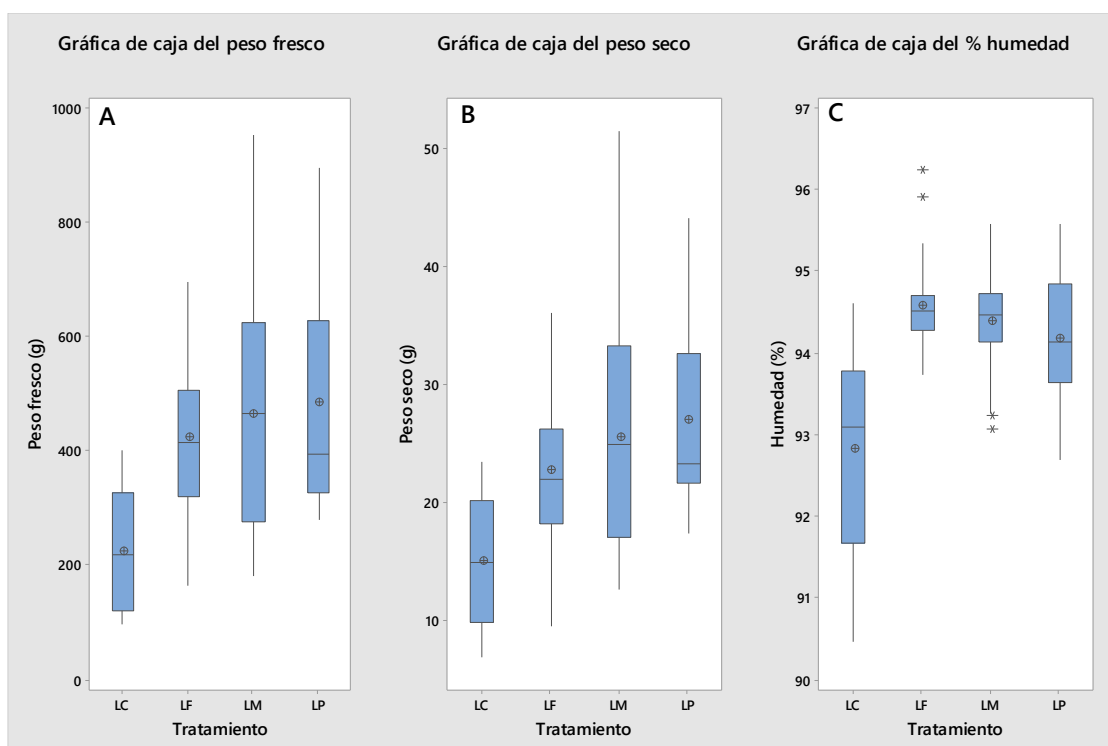


Figura 4.5 A) Diagrama de caja del peso fresco, B) peso seco y C) % de humedad, según tratamiento en lechuga, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-4 Resultados de la determinación de biomasa final de lechuga

Tratamiento	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
Purines de cerdo	483,5 ± 206,2 ^a	26,96 ± 8,21 ^a	94,17 ± 0,73 ^a
Abono mineral	465,9 ± 195,1 ^a	25,58 ± 9,79 ^a	94,38 ± 0,58 ^a
Fango de depuradora	424,9 ± 130,8 ^a	22,79 ± 6,81 ^a	94,58 ± 0,56 ^a
Compost	224,9 ± 107,7 ^b	15,07 ± 5,29 ^b	92,81 ± 1,19 ^b

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza) y Games-Howell. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

D) Efecto localización

Se detectó un crecimiento irregular en las muestras de lechugas de diferentes tratamientos según su localización. Además, el suelo de la parcela presentaba diferencias físicas apreciables. Todo lo cual parecía sugerir un posible efecto de la localización de las subparcelas. Aunque la distribución original de los tratamientos se realizó de manera aleatoria (figura 4.6), no correspondía a un diseño por bloques aleatorizados completos (entendiendo en este caso bloque como localización). Sin embargo, como el tratamiento compost estaba disponible en cada una de las localizaciones (Localización I (LC3); Localización II (LC1); Localización III (LC4); Localización IV (LC2)), se decidió trabajar con los datos obtenidos de este tratamiento para analizar las posibles diferencias en el crecimiento según la localización, en particular, en las variables peso fresco, seco y porcentaje de humedad. Se puede notar que la biomasa final generada por las plantas de la localización II (LC1) es mayor en las tres variables (peso fresco, peso seco y porcentaje de humedad), dejando muy por debajo la biomasa de las otras tres localizaciones. Del mismo modo, se puede observar que todos los datos son asimétricos (figura 4.7).



Se verificó que se cumplía la condición de varianzas iguales y, por lo tanto, se pudo aplicar el test ANOVA, obteniendo un p -valor $< 0,05$ y concluyendo que había diferencias significativas entre las localizaciones y, por tanto, también entre subparcelas. En la tabla 4-5 se recogen los resultados dados por el test de Tukey. Este test expone que para las variables de peso fresco y seco se distinguen tres grupos; las medias más altas del peso fresco y del seco se dan en la localización II, las intermedias en la localización I y los valores más bajos en las localizaciones III y IV. Por otra parte, las medias de los porcentajes de humedad de las localizaciones I y II son similares entre sí y de las más elevadas; en cambio, las localizaciones III y IV presentan medias inferiores. Todo ello nos muestra que hay unas zonas (Localización II y, en menor medida, Localización I) más favorables para el desarrollo del cultivo.

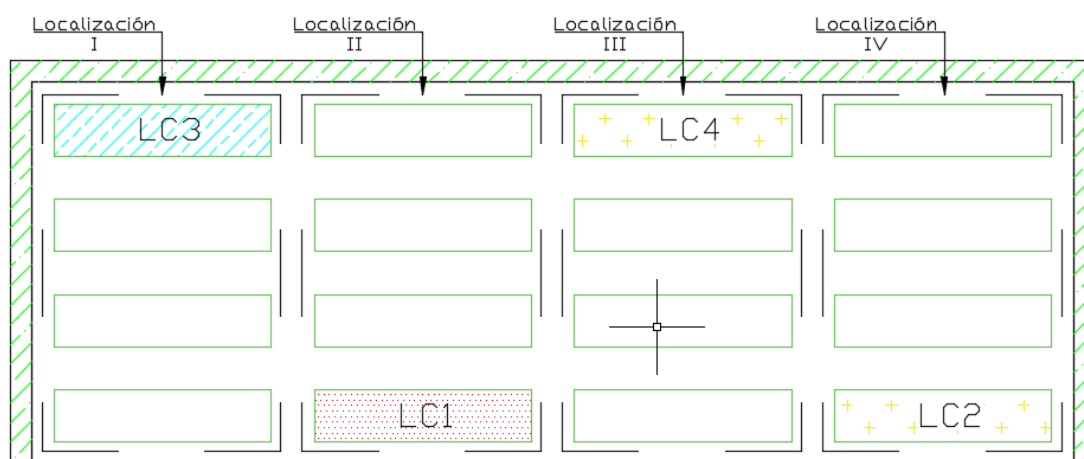


Figura 4.6 Efecto localización en lechugas.

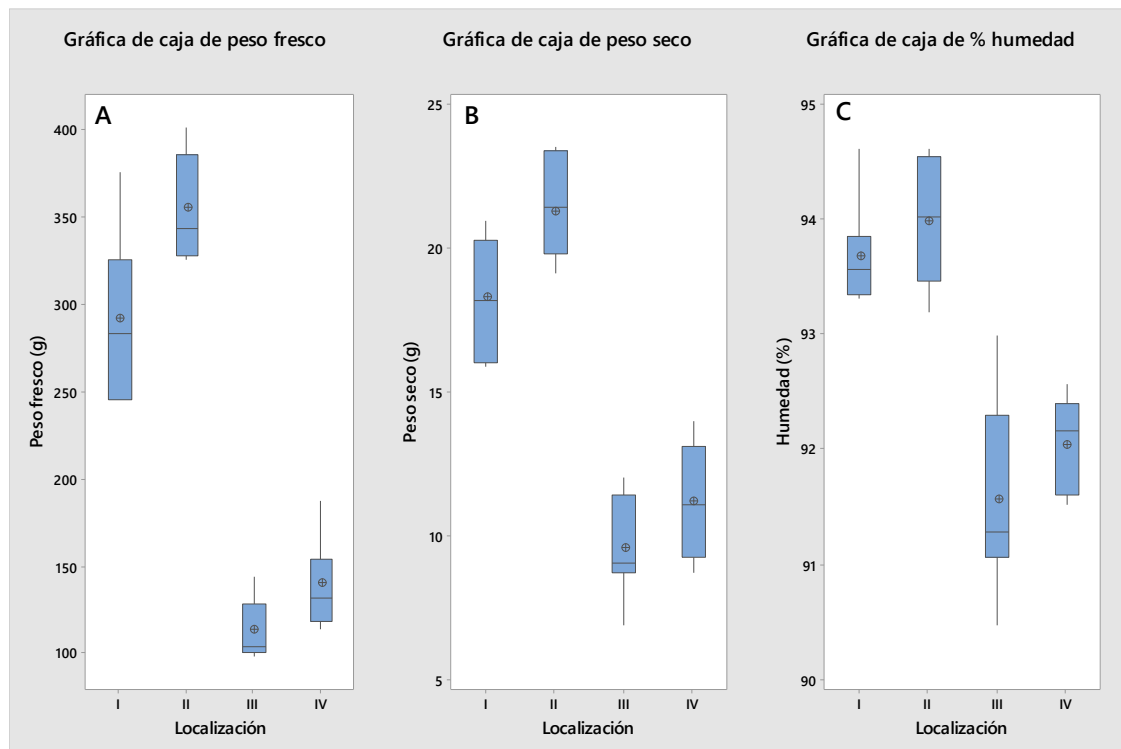


Figura 4.7 A) Diagrama de caja del peso fresco, B) peso seco y C) % de humedad, según localización, en lechuga con un nivel de significación del 5% (I: Localización I, II: Localización II, III: Localización III, IV: Localización IV).

Tabla 4-5 Biomasa final de lechuga en compost según la localización.

Localización	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
I	291,4 ± 48,0 ^b	18,289 ± 2,232 ^b	93,68 ± 0,45 ^a
II	355,1 ± 30,4 ^a	21,288 ± 1,788 ^a	93,97 ± 0,53 ^a
III	112,86 ± 17,24 ^c	9,539 ± 1,764 ^c	91,56 ± 0,84 ^b
IV	140,00 ± 25,77 ^c	11,146 ± 2,006 ^c	92,03 ± 0,40 ^b

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.5 Clorofilas según tratamiento en lechuga

Recogidas las lecturas con el CCM, con el posterior empleo de las fórmulas propuestas por Nadal (2015), se procede a la transformación de las lecturas tomadas para poder obtener como resultado la cantidad de clorofilas a, b y total en las lechugas. Los valores promedios y la desviación estándar de los resultados se reúnen en la tabla 4-6.

El test ANOVA de los datos del contenido de clorofila en las plantas revela que existen diferencias significativas entre tratamiento y tipo de clorofila. Previo análisis de varianza, se realizó un test de igualdad de varianza, que resultó ser significativo sólo para la clorofila b. En consecuencia, se empleó un test de Welch's ANOVA para esta variable, así como también el test de Games-Howell.

En cuanto a la cantidad de clorofilas a y total (figura 4.8), se muestra que los tratamientos con mayor concentración de clorofila son los purines y fango de depuradora y que poseen una distribución normal de los datos. En cambio, el fertilizante mineral tiene una densidad inferior de clorofila y una dispersión de datos mayor a la del resto de tratamientos. Por otra parte tenemos el compost, que posee la densidad más baja de clorofila de todos los tratamientos. El contenido de clorofila b es similar para los tres tipos de fertilizante (purines, fangos y mineral), y esta es inferior en el compost.

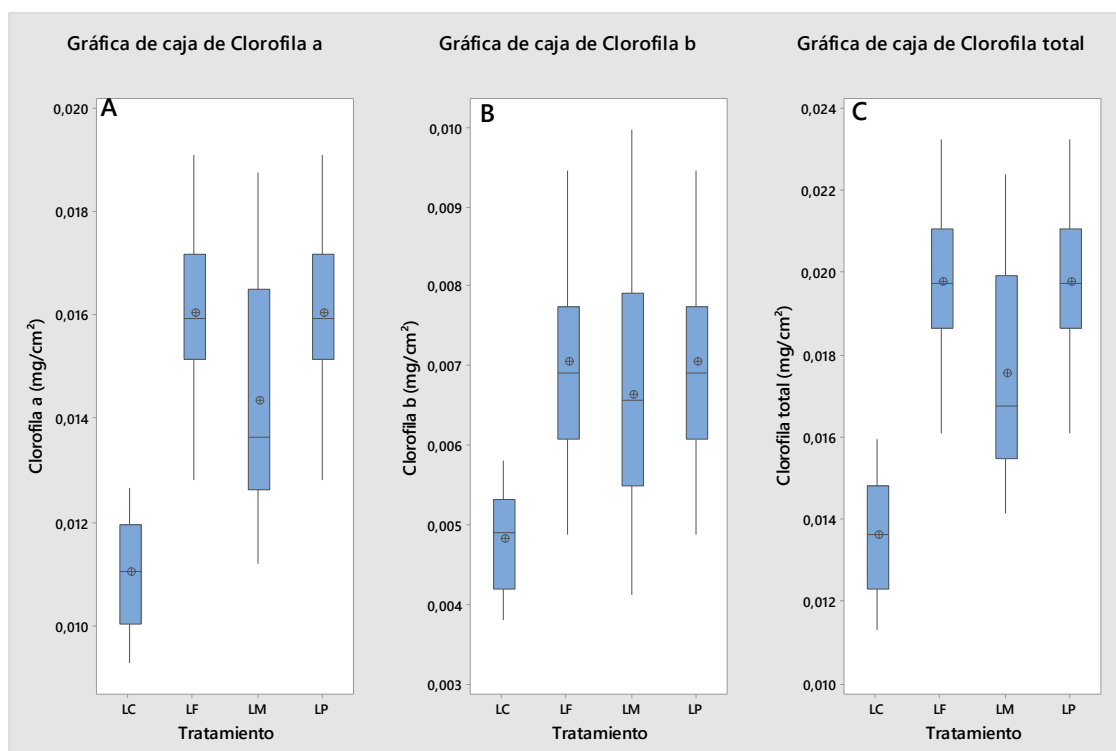


Figura 4.8 A) Diagrama de contenido de clorofila a, B) clorofila b y C) clorofila total, según tratamiento, con un nivel de significación del 5% (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-6 Resultados de la determinación total de clorofilas de lechuga.

Tratamiento	Clorofila A (mg/cm²)	Clorofila B (mg/cm²)	Clorofila Total (mg/cm²)
Purines de cerdo	0,016 ± 0,001 ^a	0,007 ± 0,001 ^a	0,019 ± 0,002 ^a
Abono mineral	0,014 ± 0,002 ^b	0,007 ± 0,002 ^a	0,018 ± 0,002 ^b
Fango de depuradora	0,016 ± 0,001 ^a	0,007 ± 0,001 ^a	0,020 ± 0,002 ^a
Compost	0,011 ± 0,001 ^c	0,005 ± 0,001 ^b	0,013 ± 0,001 ^c

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza) y Games-Howell. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.1.6 Resultados en la cuantificación de lípidos e hidratos de carbono de lechugas

Graficados los resultados de las pruebas de lípidos e hidratos de carbono podemos detectar diferencias tanto en las medias como en la distribución de los datos (Figura 4.9). En lo que respecta a los lípidos, se observa que la media de los purines de cerdos se encuentra por encima del 0,2 %; no obstante, su distribución es asimétrica y con una mayor dispersión de datos que el resto de fertilizantes. En cambio, el resto de fertilizantes tienen medias inferiores al 0,1 % y una distribución normal, exceptuando los residuos sólidos urbanos (compost). En cuanto al porcentaje de hidratos de carbono, el compost es el fertilizante con una media por encima del 1,2 %, y el resto de abonos toman valores inferiores al 0,4 %. En el caso de los fangos de depuradora y el fertilizante mineral, se aprecia una simetría y una concentración de datos cerca de la media, en contraste con los otros componentes, que toman valores irregulares.

En la tabla 4-7 se reúnen los resultados de los valores promedios y las desviaciones estándar extraídos del análisis estadístico de los datos. Dadas varianzas iguales, aplicamos la ANOVA, la cual desvela que tanto en lípidos como en hidratos de carbono de las lechugas existen desigualdades según el tratamiento. En referencia a los lípidos, los purines son el tratamiento que mayor porcentaje ha originado, mientras que el porcentaje del resto de tratamientos no es estadísticamente significativo. Pero en los resultados de hidratos de carbono, el compost origina el porcentaje más alto, mientras que para el resto de fertilizantes es parecido.

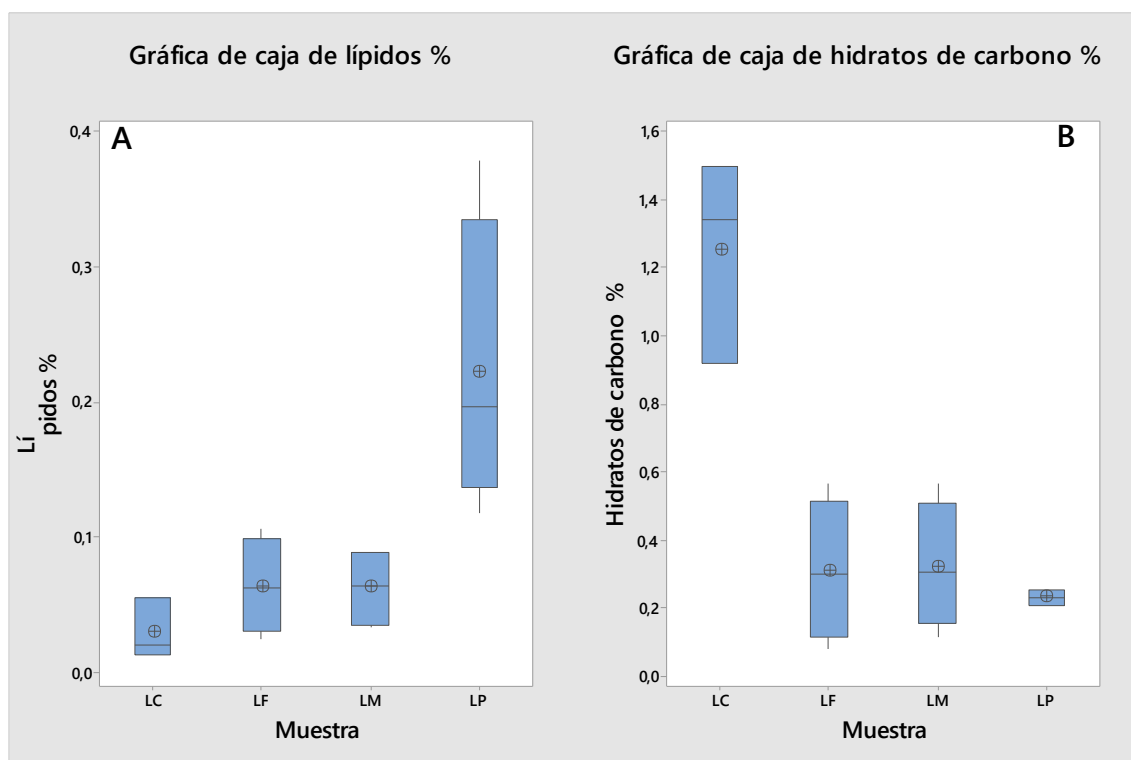


Figura 4.9 A) Diagrama del contenido en lípidos e B) hidratos de carbonos, según tratamiento, con un nivel de significación del 5 % en lechuga. (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-7 Resultados del contenido de lípidos e hidratos de carbonos de lechuga.

Tratamiento	Lípidos (%)	Hidratos de carbono (%)
Purines de cerdo	$0,222 \pm 0,111^a$	$0,230 \pm 0,0230^b$
Abono mineral	$0,063 \pm 0,027^b$	$0,322 \pm 0,186^b$
Fango de depuradora	$0,064 \pm 0,036^b$	$0,309 \pm 0,206^b$
Compost	$0,029 \pm 0,023^b$	$1,254 \pm 0,302^a$

Los datos se expresan como media \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.2. Rabanito

4.2.1 Longitud y número total de hojas

El recuento de la longitud y del número total de hojas en el último día del trabajo del rabanito se realizó utilizando el método descrito en el apartado 3.2. Una vez obtenido el conjunto de datos, se realizó un análisis descriptivo, en el cual se revela que el número total de hojas más bajo pertenece al tratamiento de residuos sólidos urbanos (compost), como a su vez se observa que tiene la mayor dispersión de datos. Aunque los fertilizantes de purín, mineral y fangos de depuradora obtuvieron los valores más elevados, estos son valores con una gran asimetría pero una menor dispersión. Cabe añadir que en dos de los tratamientos se observan valores atípicos, tal como refleja la figura 4.10.

Por otra parte, tenemos los datos de la longitud de la hoja más larga del rabanito. En la figura 4.10 se muestra que las longitudes de las hojas de rabanitos tratados con fangos de depuradora son las mayores, a pesar de que el conjunto de datos sea poco simétrico. En cambio, las longitudes de las hojas de rabanitos tratados con purín de cerdo y con fertilizante mineral se encuentran muy por encima de los valores del compost. Este presenta un *outlier*, que procede de la subparcela RC3.

Comprobando la igualdad de varianza en ambas pruebas, se realizó la ANOVA, dando como resultado que al menos uno de los promedios es diferente al resto ($p\text{-value} < 0,05$). Al mismo tiempo se realizó una agrupación de medias, que revela que, para el número de hojas, las medias del fertilizante mineral, de los purines de cerdo y del fango de depuradora son análogas entre sí. Los promedios inferiores son los del compost y los de purines de cerdo; estos últimos se hallan en ambos grupos.

En cambio, para la longitud de las hojas existen tres medias diferentes. En primer lugar, los fangos de depuradora obtienen la mejor media, mientras que los promedios de purines y fertilizante mineral están en segundo lugar; el último corresponde a la media del compost. Datos recogidos en la tabla 4-8.

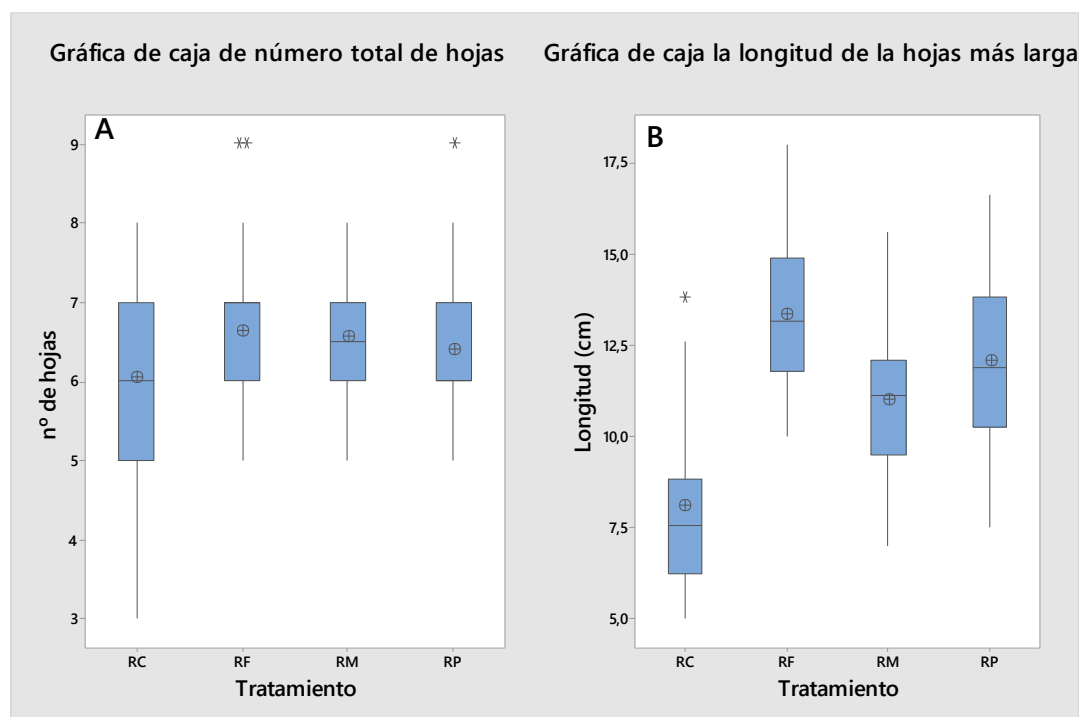


Figura 4.10 A) Diagramas de caja del número total de hojas y B) longitud de la hoja más larga según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín).

Tabla 4-8 Resultado del número total hojas y longitud total de la hoja más larga en rabanito.

Tratamiento	Número total de hojas	Longitud total de hojas
Purines de cerdo	$6,4 \pm 0,9^{ab}$	$12,1 \pm 2,4^b$
Abono mineral	$6,6 \pm 0,9^a$	$11,0 \pm 2,0^b$
Fango de depuradora	$6,6 \pm 1,0^a$	$13,3 \pm 2,0^a$
Compost	$6,0 \pm 1,0^b$	$8,1 \pm 2,3^c$

Los datos se expresan como media \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.2.2. Biomasa final

En la biomasa final del rabanito se evalúa tanto la parte aérea como la parte subterránea de las plantas. Por lo tanto, este apartado queda dividido en tres subapartados, relativos a los componentes peso final, peso hojas y peso raíz. En cuanto al análisis estadístico de los datos, se realizó siguiendo el procedimiento antes descrito en el apartado 3.12.

A) Peso fresco

En lo que respecta al análisis descriptivo de la variable peso fresco de los rabanitos, se puede observar que, tanto en peso total, de hojas y de raíces, el fertilizante que mayor biomasa genera es el de fango de depuradora, seguido muy de cerca por el purín y el fertilizante mineral. Por el contrario, los residuos sólidos urbanos (compost) son los que menor biomasa han generado y también los que mayor cantidad de valores atípicos han generado. Este conjunto de valores atípicos proviene de datos de la subparcela RC3; con posteridad observaremos la influencia de esta subparcela dentro de los resultados del compost. (Figura 4.11).

Previo al test ANOVA de los datos se realizó uno de igualdad de varianzas, dando como resultado que las varianzas de los datos de peso fresco hoja son iguales entre sí, aunque los de peso fresco total y raíz son desiguales. Dada la información del test de igualdad de varianzas, a la variable del peso fresco hoja se le aplica ANOVA y posteriormente el test de Tukey; por el contrario, para las variables peso fresco total y raíz se emplea una prueba de Welch's ANOVA y después un test de Games-Howell.

Al realizar las pruebas, se puede confirmar que las medias del peso fresco total de fangos de depuradora y de purín son casi equivalentes. En la tabla 4-9 se muestra que la media del peso fresco total de los purines de cerdo también es similar a la de abono mineral. Por último, la media del peso fresco total de los residuos sólidos urbanos (compost) es inferior a la del resto de fertilizantes. Estos mismos resultados aplican para el resto de componentes: peso fresco hojas y peso fresco raíces.

B) Peso seco

Los resultados del estadístico descriptivo de los datos de peso seco guardan un cierto parecido con los resultados de peso fresco. En los primeros se reproduce la cantidad de valores atípicos del tratamiento compost, proviniendo de la subparcela RC3 (Figura 4.12).

Al igual que el apartado anterior, se procede a realizar el test de igualdad de varianzas para poder verificar si estas son iguales o diferentes entre sí, y finalmente se comprueba que no existe significancia entre las varianzas. En la tabla 4-10, donde se exponen los resultados dados por la prueba de Tukey, se puede observar la diferenciación entre cada variable (peso seco total, peso seco hojas, peso seco raíces).

Para la variable peso seco total, la distribución queda repartida de la siguiente manera: en primer lugar y con el mejor promedio, los fangos de depuradora, seguidos por los fertilizantes de purines de cerdo y de abono mineral, quedando en tercer lugar los residuos sólidos urbanos (compost), con la media más baja.

En cambio, para la variable peso seco hojas, la segmentación es la siguiente: los fertilizantes de purines de cerdo y de fango de depuradora han generado cantidades parecidas de biomasa seca y, por consiguiente, promedios similares, muy por encima del fertilizante mineral. Sin embargo, los purines de cerdo se encuentran dentro de ambos grupos. Los fangos y el compost no comparten letra, lo que indica que los fangos de depuradora poseen una media significativamente mayor que el compost.

En el caso del peso seco de las raíces, los resultados son parecidos a los obtenidos en peso seco total.

C) Porcentaje de humedad

Los datos del porcentaje de humedad de las diferentes partes de la planta quedan recogidos en el gráfico de caja (Figura 4.13). Respecto a los datos de la humedad total del rabanito, a primera vista se aprecia que los fangos de depuradora, el fertilizante mineral y



los purines de cerdo son los que mayor cantidad de humedad tuvieron. Por otra parte, la media de los residuos sólidos urbanos (compost) se sitúa por debajo del 92 %. En cuanto a la distribución y simetría de los datos, se observa que los fangos reúnen estas características, mientras que el resto de pruebas tienen un mayor desajuste. Todas estas observaciones se vuelven a repetir en la humedad de las hojas y raíces de las plantas.

En lo que respecta al análisis de igualdad de varianzas de la humedad del rabanito, se encontraron diferencias significativas, con lo que podemos decir que no hay igualdad de varianza en ninguno de los tres casos: humedad total, humedad hojas y humedad raíces. Se realizó un test de Welch's ANOVA y una agrupación por Games-Howell. En el caso de la humedad total, existen dos diferenciaciones: la primera, con mayor promedio, está compuesta por tres medias análogas entre sí (fangos, purín y mineral); y la segunda, relativa al compost, con la media más baja. En el caso del fertilizante mineral, su media se encuentra incluida en ambos grupos. Este mismo conjunto de observaciones se aplica a la humedad de las raíces, ya que son semejantes.

Por otra parte, la agrupación de medias toma diferentes parámetros para la humedad de las hojas: el primer grupo engloba los tres primeros fertilizantes de la tabla 4-11, y el segundo incluye el del compost.

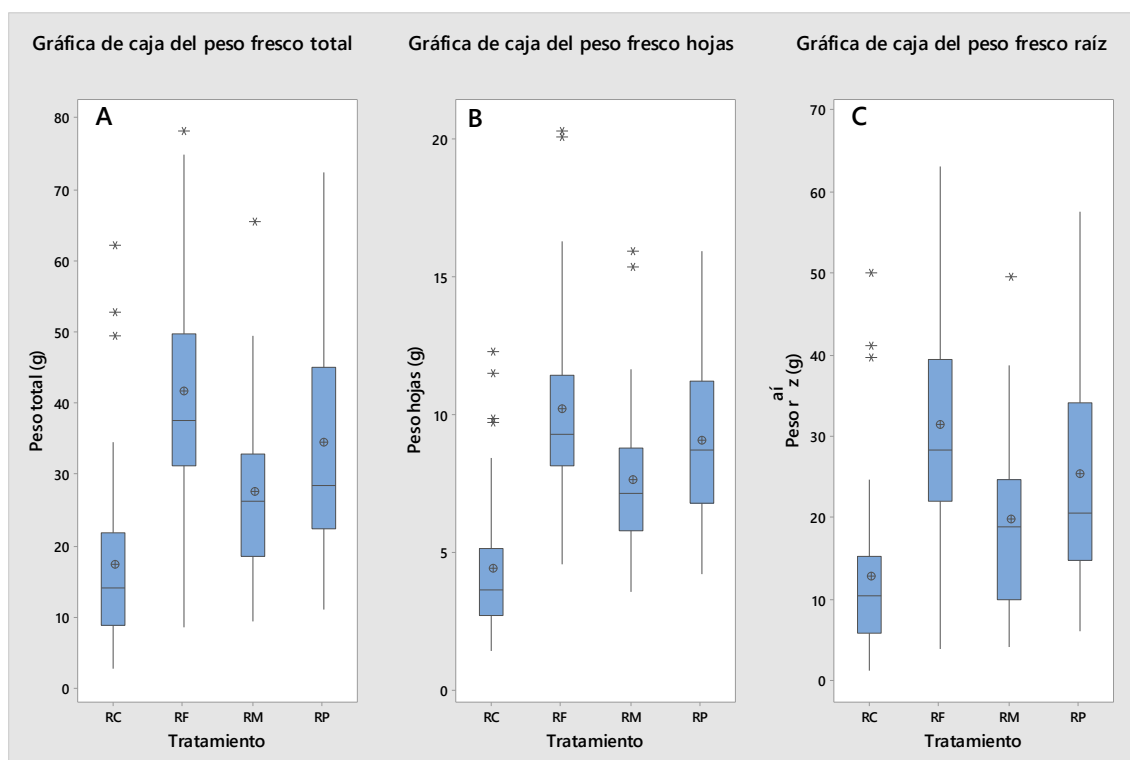


Figura 4.11 A) Diagrama de caja del peso fresco total, B) peso fresco hojas y C) peso fresco raíz según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín).

Tabla 4-9 Resultados de la determinación de biomasa final en peso fresco en rabanito.

Tratamiento	Peso fresco total (g)	Peso fresco hojas (g)	Peso fresco raíces (g)
Purines de cerdo	$34,32 \pm 15,79^{ab}$	$9,06 \pm 3,04^{ab}$	$25,26 \pm 13,45^{ab}$
Abono mineral	$27,42 \pm 11,75^b$	$7,63 \pm 2,65^b$	$19,78 \pm 9,77^b$
Fango de depuradora	$41,66 \pm 15,56^a$	$10,20 \pm 3,51^a$	$31,46 \pm 13,06^a$
Compost	$17,17 \pm 12,37^c$	$4,44 \pm 2,51^c$	$12,73 \pm 10,14^c$

Los datos se expresan como media \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza) y Games-Howell. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

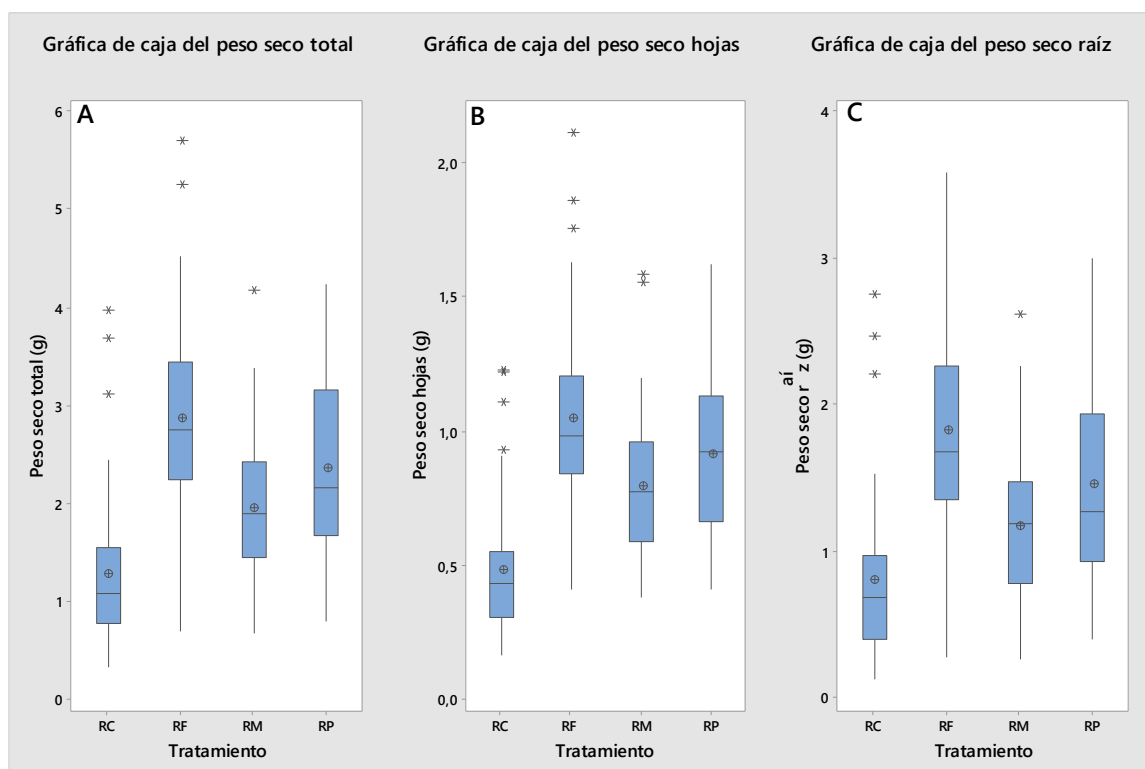


Figura 4.12 A) Diagrama de caja del peso seco total, B) peso seco hojas y C) peso seco raíz según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín).

Tabla 4-10 Resultados de la determinación de biomasa final en peso seco en rabanito.

Tratamiento	Peso seco total (g)	Peso seco hojas (g)	Peso seco raíces (g)
Purines de cerdo	$2,359 \pm 0,879^b$	$0,9108 \pm 0,2808^{ab}$	$1,4487 \pm 0,6596^b$
Abono mineral	$1,955 \pm 0,721^b$	$0,7934 \pm 0,2664^b$	$1,1621 \pm 0,5054^b$
Fango de depuradora	$2,865 \pm 0,972^a$	$1,0488 \pm 0,3544^a$	$1,8166 \pm 0,6764^a$
Compost	$1,283 \pm 0,765^c$	$0,4817 \pm 0,2513^c$	$0,8011 \pm 0,5536^c$

Los datos se expresan como media \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

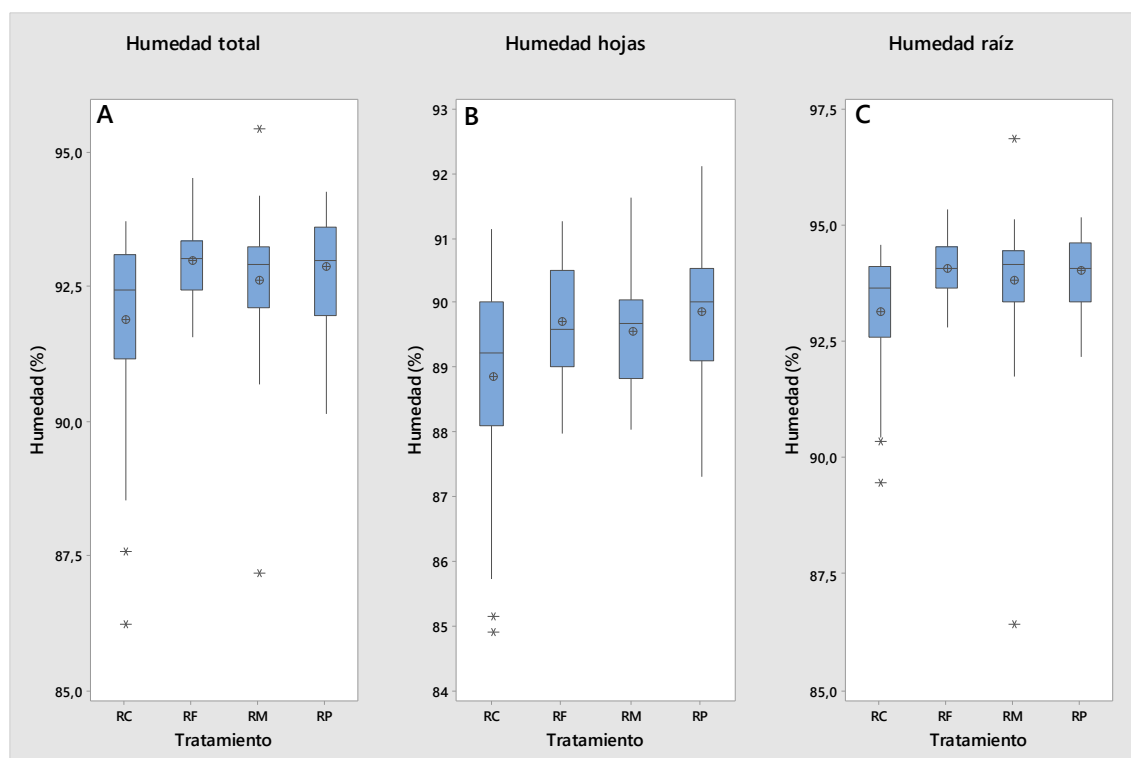


Figura 4.13 A) Diagrama de caja del humedad total, B) humedad hojas y C) humedad raíz según tratamiento con en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín).

Tabla 4-11 . Resultados de la determinación de biomasa final % de humedad en rabanito.

Tratamiento	Humedad total (%)	Humedad hojas (%)	Humedad raíces (%)
Purines de cerdo	92,849 ± 0,977 ^a	89,855 ± 0,938 ^a	93,120 ± 1,339 ^a
Abono mineral	92,603 ± 1,237 ^{ab}	89,562 ± 0,816 ^a	94,083 ± 0,604 ^{ab}
Fango de depuradora	92,989 ± 0,751 ^a	89,704 ± 0,858 ^a	93,814 ± 1,416 ^a
Compost	91,870 ± 1,724 ^b	88,850 ± 1,549 ^b	94,020 ± 0,753 ^b

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método Games-Howell. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

D) Efecto localización

En los rabanitos se vuelven a percibir desigualdades en el crecimiento de las plantas según el tratamiento y la localización dentro de la parcela, así como también la reaparición de diferencias físicas del terreno. Todo lo cual parecía insinuar un posible efecto de la localización de las subparcelas. Aunque el reparto original de los tratamientos se realizó de manera aleatoria (figura 4.14), no correspondía a un planteamiento por bloques aleatorizados completos (comprendiendo en este caso bloque como localización). Sin embargo, como el tratamiento compost estaba disponible en casi todas las localizaciones (Localización I (RC3); Localización III (RC4); Localización V (RC1); Localización VI (RC2)), se decidió trabajar con los datos conseguidos de este tratamiento para analizar las posibles diferencias en el crecimiento según la localización en particular, en las variables peso fresco, seco y porcentaje de humedad. Se procede a graficar el conjunto de valores de las variables para poder hacer una primera estimación de posibles influencias de la localización de la parcela sobre el crecimiento de las plantas.

La figura 4.15 muestra que para la variable peso fresco, la localización I (RC3) tiene un promedio superior al resto, resultado que se vuelve a dar en el peso seco. Las localizaciones III (RC4), V (RC1) y VI (RC2) no presentan diferencias de media a primera vista, pero sí de valores atípicos. En cuanto al porcentaje de humedad de las plantas, se presenta una media de pérdida de agua por encima del 90 %, para las localizaciones V (RC1) y VI (RC2); cabe destacar que son las localizaciones con mayor número de datos atípicos. En cambio, el promedio de las localizaciones I (RC3) y III (RC4) ronda el 92 %, y con una mayor concentración de valores cerca de la media.

En el test de igualdad de varianzas, la variable peso fresco no cumple la igualdad de varianzas; por lo tanto, se analizó utilizando la prueba de Welch-ANOVA y con posterioridad la de Games-Howell. En cambio, el resto de variables (peso seco y porcentaje de humedad) sí cumplen esta condición, y su diferencia se analiza utilizando ANOVA y después Tukey. En la tabla 4-12 se recoge el resumen de medias y varianzas de los datos, y, a su vez, se manifiesta que la localización I es la que mayor cantidad de biomasa fresca

y seca ha generado; por el contrario, las otras localizaciones han generado una biomasa inferior y parecida entre sí. En lo que atañe al porcentaje de humedad, no se encuentran diferencias significativas, dando a entender que la cantidad de agua evaporada es igual en todas las muestras.

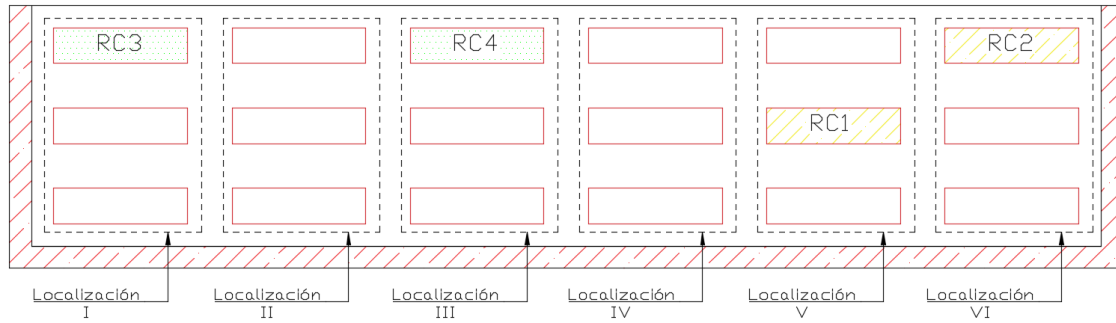


Figura 4.14 Efecto de la localización en rabanito.

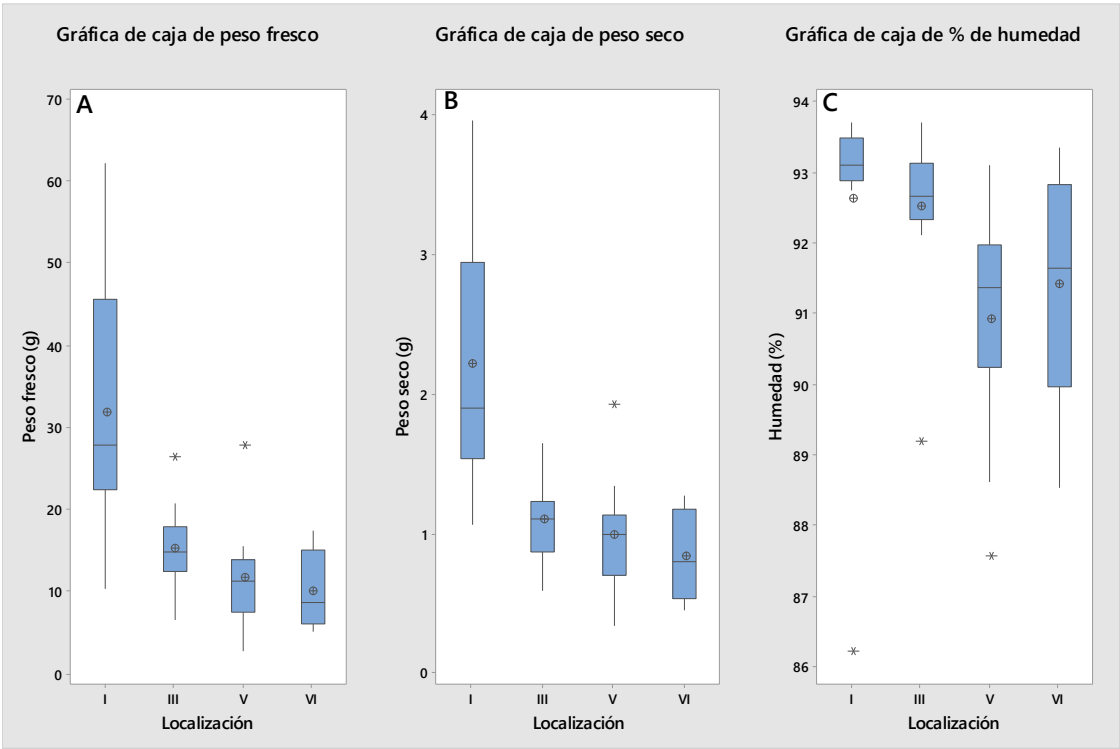


Figura 4.15 A) Diagrama de caja del peso fresco, B) peso seco y C) % de humedad, según localización, en rabanito con un nivel de significación del 5% (I: Localización I, III: Localización III, V: Localización V, VI: Localización VI).

Tabla 4-12 Biomasa final de rabanito en compost según la localización.

Localización	Peso fresco (g)	Peso seco (g)	Humedad (%)
I	31,87 ± 15,43 ^a	2,210 ± 0,925 ^a	92,64 ± 2,05 ^a
III	15,08 ± 5,27 ^b	1,095 ± 0,311 ^b	92,51 ± 1,14 ^a
V	11,71 ± 6,27 ^b	0,992 ± 0,396 ^b	90,92 ± 1,55 ^a
VI	10,00 ± 4,38 ^b	0,834 ± 0,323 ^b	91,41 ± 1,58 ^a

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza) y Games-Howell. Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.2.3. Resultados de la determinación de clorofilas en rabanito

4.2.4. Patrón de calibración

Utilizando el CCM-200 podemos determinar la concentración de clorofila que se encuentra en las hojas del cultivo de rabanito, y que se obtiene mediante la regresión lineal que hay entre la lectura del CCM-200 y la densidad de clorofila cuantificada en las muestras, a partir de la extracción a través de la técnica de espectrometría. Empleando las fórmulas de Inskeep & Bloom (1985), se realiza unas gráficas de calibración, consiguiendo las clorofilas a, b y total. (Figuras 4.16, 4.17, 4.18).

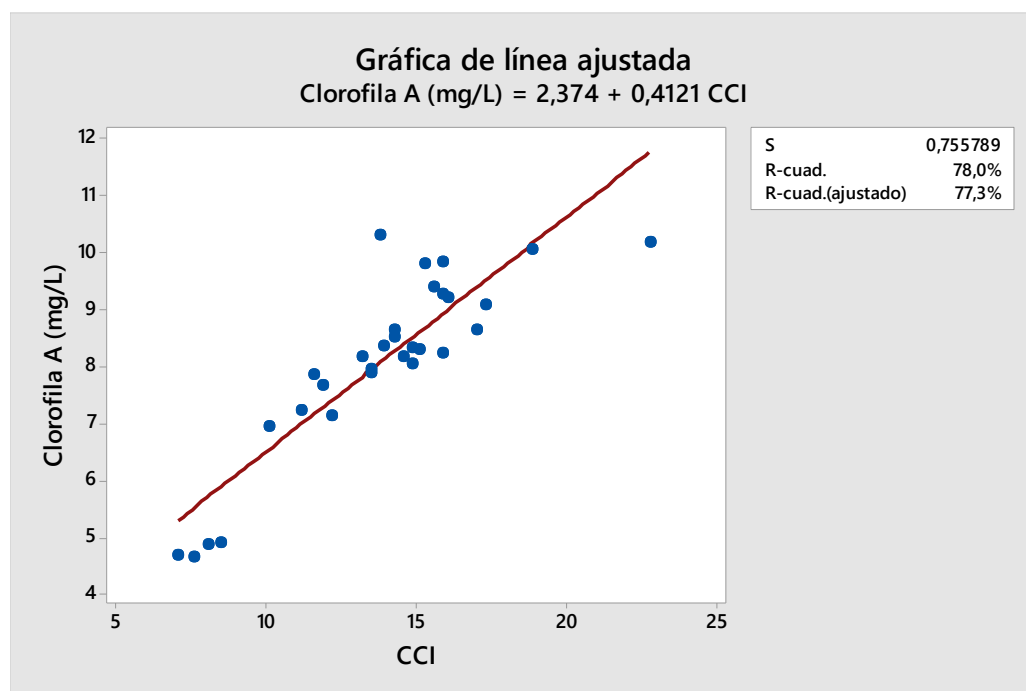


Figura 4.16 Grafica de cuantificación de clorofila a en rabanito.

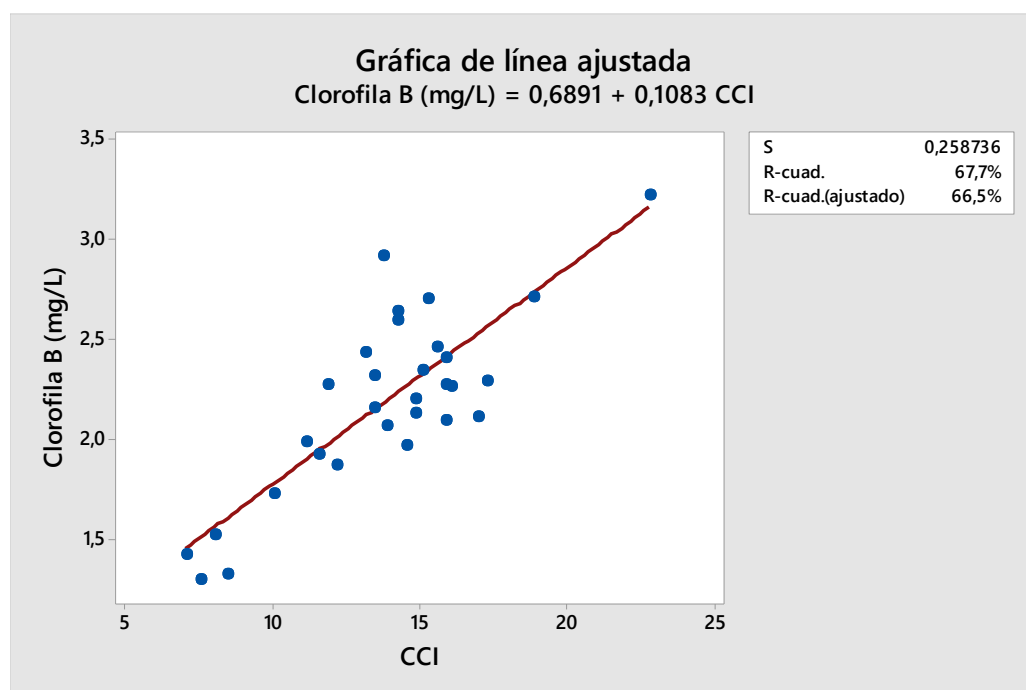


Figura 4.17 Grafica de cuantificación de clorofila b en rabanito.

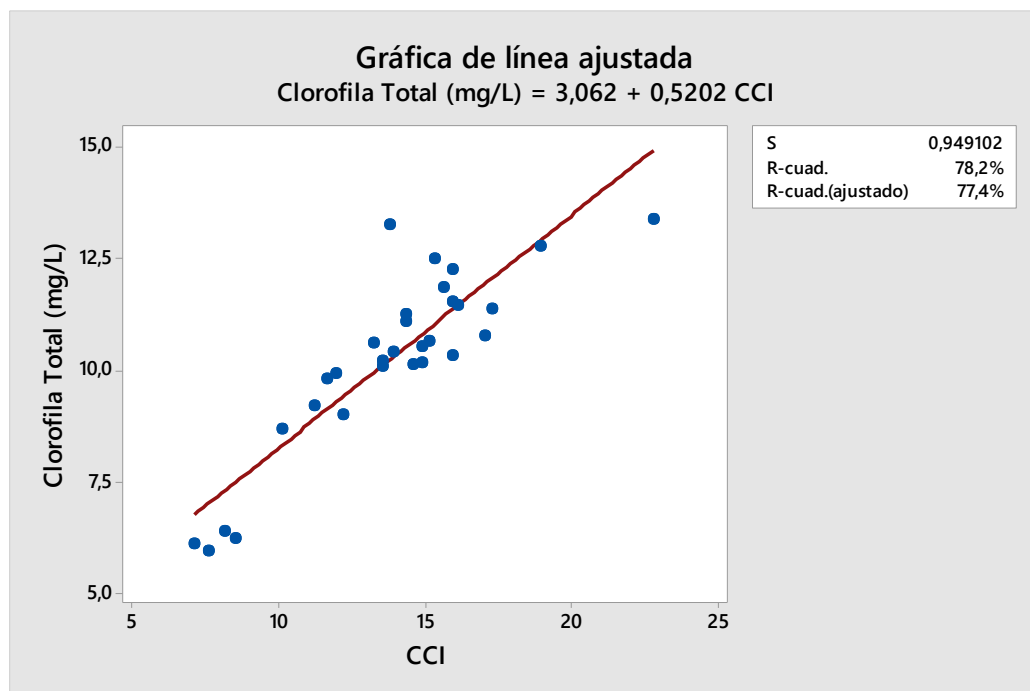


Figura 4.18 Gráfica de cuantificación de clorofila total en rabanito

Los coeficientes de correlación de Pearson entre CCI y clorofila (a, b y total) son 0,823; 0,883 y 0,884, lo que representa una relación positiva entre las variables. A medida que el CCI aumenta, la clorofila también lo hace. En todos los casos el p-valor (0,001) es menor que el nivel de significancia de 0,05. Los coeficientes de determinación (R^2) están por encima del 67 %.

Dados los resultados obtenidos, podemos formular las ecuaciones de las rectas de tendencia adquiridas a partir de la regresión lineal.

$$\text{Clorofila b (mg/cm}^2\text{)} = 0,001947 + 0,000306 \text{ CCI} \quad (4-1)$$

$$\text{Clorofila a (mg/cm}^2\text{)} = 0,006705 + 0,001164 \text{ CCI} \quad (4-2)$$

$$\text{Clorofila total (mg/cm}^2\text{)} = 0,008649 + 0,001469 \text{ CCI} \quad (4-3)$$

4.2.5. Clorofilas según tratamiento en rabanito

Con los resultados de las lecturas tomadas con el aparato CCM-200 en el cultivo de rabanitos, sumados a las ecuaciones conseguidas a través de la regresión lineal, podemos pasar a cuantificar las clorofilas a, b y total de las plantas. Los resultados, una vez dada la transformación de los datos, revelan que tanto el compost como el fango y el mineral tienen una amplia distribución, pero con buena simetría en las clorofilas a, b y total. Los purines, en cambio, no cumplen el parámetro de simetría. Cabe resaltar la presencia de valores atípicos en el tratamiento de fertilizante mineral, tal como se observa en la figura 4.19.

Dadas varianzas iguales, aplicamos la ANOVA, dando como resultado diferencias estadísticamente significativas como para poder decir que al menos una de las clorofilas de un fertilizante es diferente a las del resto. En la tabla 4-13 se resumen los datos de la clorofila a, la clorofila b y la clorofila total. Los promedios de las clorofilas del fertilizante mineral y del purín son análogos y de los más altos, en comparación con el resto de abonos. De la misma manera, las medias de los fangos y de los purines son similares. Los fangos de depuradora también comparten una similitud con la media del compost.

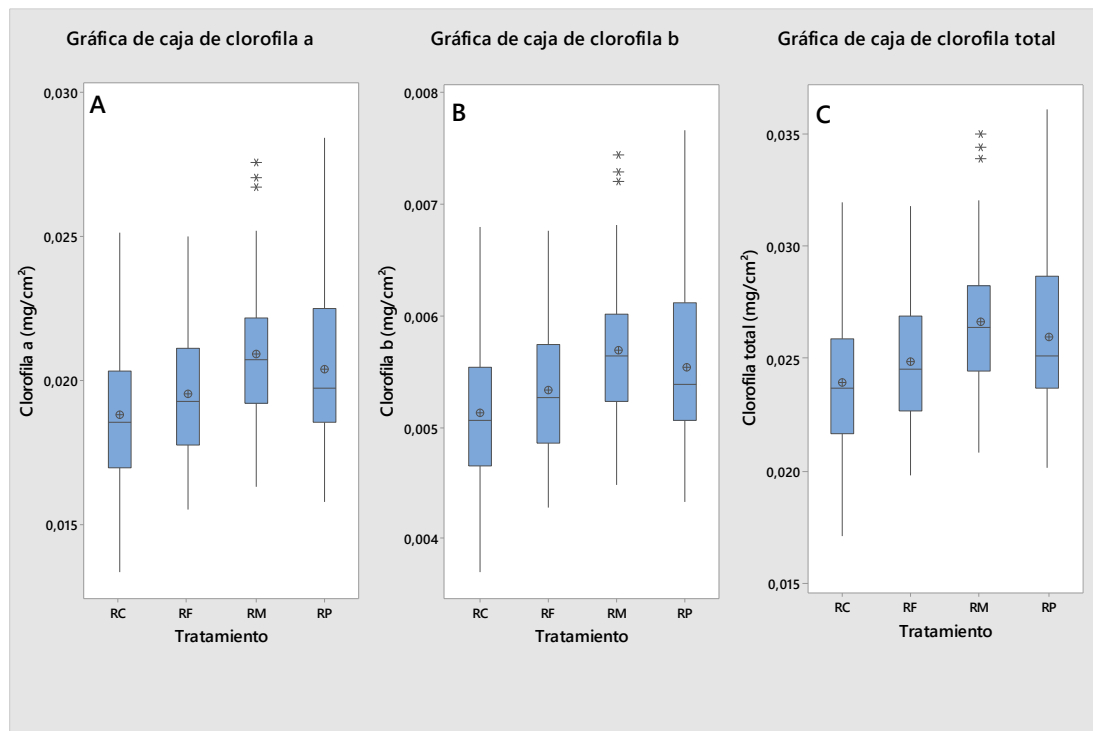


Figura 4.19 A) Diagrama de contenido de clorofila a, B) clorofila b y C) clorofila total según tratamiento con en rabanito con un nivel de significación del 5% (RC: Compost, RF: Fangos, RM: Mineral, RP: Purín).

Tabla 4-13 Resultados de la determinación total de clorofilas en rabanito.

Tratamiento	Clorofila A (mg/cm²)	Clorofila B (mg/cm²)	Clorofila Total (mg/cm²)
Purines de cerdo	0,020 ± 0,003 ^{ab}	0,0055 ± 0,0007 ^{ab}	0,026 ± 0,003 ^{ab}
Abono mineral	0,021 ± 0,003 ^a	0,0057 ± 0,0007 ^a	0,027 ± 0,003 ^a
Fango de depuradora	0,020 ± 0,002 ^{bc}	0,0053 ± 0,0006 ^{bc}	0,025 ± 0,003 ^{bc}
Compost	0,019 ± 0,003 ^c	0,0051 ± 0,0007 ^c	0,024 ± 0,003 ^c

Los datos se expresan como media ± DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

4.2.6. Resultados en la cuantificación de lípidos e hidratos de carbono de rabanitos

El análisis global de los resultados de los rabanitos se muestra en la figura 4.20, donde los lípidos del fertilizante mineral presentan un porcentaje mayor que los del resto de tratamientos, aunque, a su vez, tienen una mayor dispersión de valores. De manera similar se encuentran repartidos los datos de hidratos de carbono, en donde el promedio del fertilizante mineral es superior al 1,2 %, y el del resto de fertilizantes de la prueba inferior al 0,4 %. En cuanto a la distribución y simetría de los valores, es notable el hecho de que en su gran mayoría son asimétricos y muy dispersos, exceptuando los fangos de depuradora, que presentan una distribución normal.

El test de igualdad de varianzas no es significativo para las variables; por lo tanto, se utiliza la prueba de ANOVA y posteriormente un test de Tukey. A la vista del resultado para el lípido en rabanito concluimos que no existen diferencias estadísticas significativas suficientes para decir que hay disimilitudes entre tratamientos; por lo tanto, todos generan el mismo porcentaje de lípidos. En cambio, para hidratos de carbono en rabanito se puede observar que existen desigualdades entre tratamientos. El fertilizante mineral es el que ha generado mayor cantidad de hidratos de carbono en comparación al resto de fertilizantes, dado que tanto los fangos como los purines y el compost han producido cantidades similares de hidratos de carbono. El resumen de los datos lo podemos encontrar en la tabla 4-14.

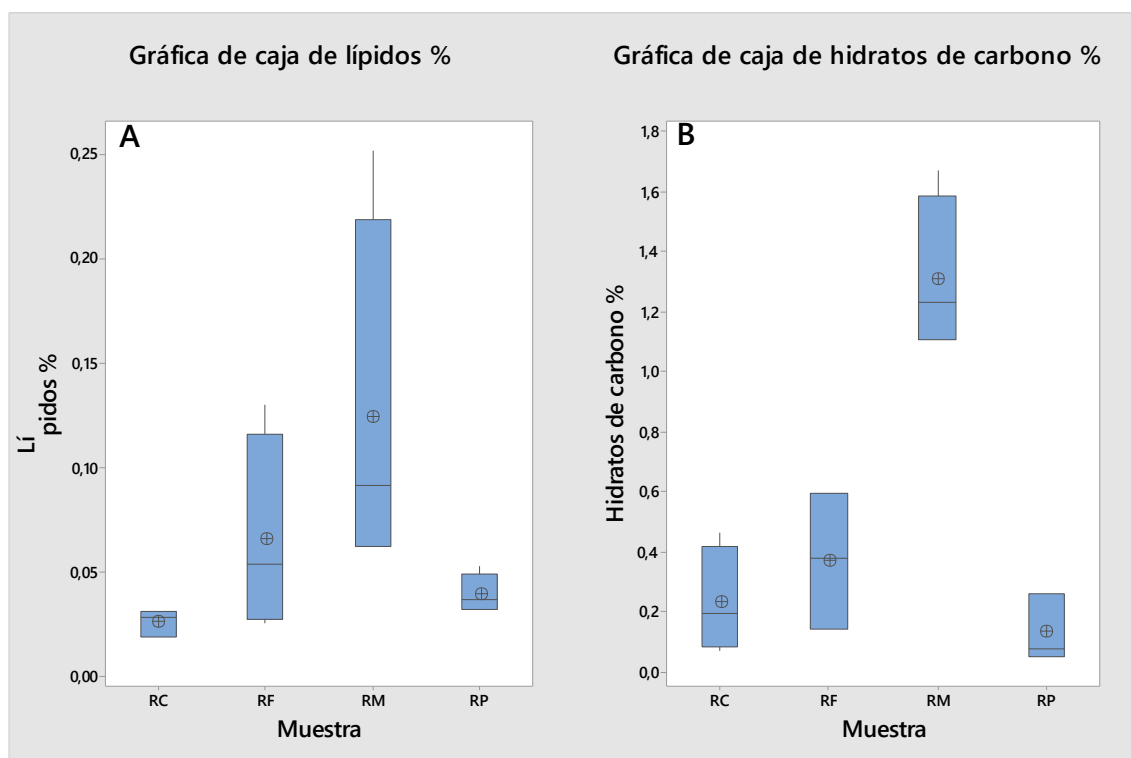


Figura 4.20 A) Diagrama del contenido en lípidos e B) hidratos de carbonos según tratamiento en rabanito con un nivel de significación del 5% en rabanito. (LC: Compost, LF: Fangos, LM: Mineral, LP: Purín).

Tabla 4-14 Resultados del contenido de lípidos e hidratos de carbonos en rabanito.

Tratamiento	Lípidos (%)	Hidratos de carbono (%)
Purines de cerdo	$0,039 \pm 0,009^a$	$0,130 \pm 0,114^b$
Abono mineral	$0,124 \pm 0,089^a$	$1,308 \pm 0,267^a$
Fango de depuradora	$0,065 \pm 0,048^a$	$0,373 \pm 0,267^b$
Compost	$0,026 \pm 0,006^a$	$0,130 \pm 0,114^b$

Los datos se expresan como media \pm DE. Las letras en superíndice muestran la información de agrupación, utilizando el método de Tukey (95% de confianza). Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

5. Discusión

Las dosis utilizadas de fertilizante para los diferentes tratamientos (fango, purines, RSU y fertilizante mineral) del trabajo se han formulado teniendo en cuenta las extracciones de nitrógeno correspondientes para cada cultivo (Pomares & Ramos, 2010); a pesar de este ajuste se han obtenido resultados significativamente diferentes para muchas variables analizadas.

Consideramos que las deficiencias en el desarrollo de la planta y la formación de clorofilas, azúcares y lípidos son atribuibles, en nuestro trabajo, a la carencia o la poca disponibilidad de nitrógeno en alguno de los tratamientos (Antón, 2018), en especial los orgánicos, en vista de que su aportación de nitrógeno en el primer año de incorporación es pequeña, tal como argumenta Gutser et al. (2005). A su vez, también plantea que la disponibilidad de nitrógeno a partir de fertilizantes orgánicos es considerablemente influenciado por el suelo, las condiciones meteorológicas y la duración del cultivo.

Se ha determinado un crecimiento vegetal diferente entre las plantas fertilizadas con los residuos sólidos urbanos (RSU) y las fertilizadas con fangos de depuradora, purines o abono mineral. Las lechugas tratadas con RSU tuvieron un crecimiento menor que con los otros tratamientos. Esta carencia se refleja tanto en el desarrollo del cultivo como en una menor concentración de clorofila y lípidos. Estos resultados podrían estar relacionados con la disponibilidad del nitrógeno en el momento de demanda del cultivo (Urquiaga & Zapata, 2000), ya que la concentración de nitrógeno en RSU se encuentra en mayor proporción en forma orgánica y no amoniacal (tabla 3-3 y 3-4). Otro factor a tener en cuenta es el corto ciclo vegetativo del cultivo que, añadido a una pequeña tasa de mineralización, no ha permitido que el nitrógeno estuviera disponible para la utilización para las plantas. Está claro que la sincronización que hay entre la mineralización del nitrógeno y su demanda por parte de las plantas supone un reto en las estrategias de la fertilización orgánica (Pang & Letey, 2000), pues el aporte de nitrógeno disponible afecta

en gran medida al crecimiento del cultivo y tiene influencia en el proceso fotosintético (Farhangi-Abriz & Torabian, 2018).

No obstante, hay autores que han encontrado resultados parecidos a los nuestros con abonado RSU, como es el caso de Giráldez et al. (1995). En su ensayo utilizaron cuatro tratamientos diferentes: control abonado, compost RSU (30 t/ha), compost RSU (60 t/ha) y compost RSU (90 t/ha). Los resultados significativamente superiores fueron con abono mineral y compost RSU a la dosis de 60 t/ha, dado que para los parámetros de producción, longitud aérea y peso aéreo estos tratamientos obtuvieron resultados un 50 % superiores respecto a los tratamientos con compost RSU a 30 y 90 t/ha. Aparentemente, el compost RSU aplicado a razón de 60 t/ha resultó ser la dosis más efectiva para la producción de lechugas, mostrando un rendimiento comparable al ofrecido por un abono mineral completo de fondo. También menciona Giráldez et al. (1995) que en general el compost incorporado a 30 t/ha resultó insuficiente como fertilizante; en cambio el compost RSU a 60 t/ha fue la dosis óptima para la mayor parte de los cultivos evaluados, como por ejemplo: espinaca (*Spinacia oleracea*), escarola (*Cichorium endivia*), patata (*Solanum tuberosum*) y brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica* Plenck).

Los resultados obtenidos de las diferentes pruebas nos indican que los tratamientos que han generado un mayor crecimiento de las plantas han sido los realizados con fangos, purín y fertilizante mineral. Ya son muchos los autores que defienden la fertilización de los suelos con fangos de depuradora (Bravo et al., 2010) y purines, en donde expresan que los resultados obtenidos con estos fertilizantes orgánicos son semejantes a los proporcionados por abono mineral. No obstante, el hecho de que las lechugas se desarrollaran con fertilizantes orgánicos tiene otros beneficios, como por ejemplo los que manifiesta (Locoli et al., 2014) en su trabajo, donde las lechugas tratadas con purines generaron un aumento de la actividad biológica del suelo, en comparación con los tratamientos químicos. Otro posible bien de la aportación de purines al suelo es el incremento de nitrógeno, fósforo y potasio después de sucesivas aplicaciones en altas



dosis, pese a su ligero aumento de pH y un descenso en la conductividad eléctrica, aunque, sin embargo, el contenido de carbono orgánico aumenta notoriamente tras la aplicación de purín (Llona & Faz, 2006).

Por otra parte, los resultados encontrados en nuestro ensayo son diferentes a los del trabajo hecho por (Castro et al., 2009), en el que la lechuga romana (*Lactuca sativa L. var. Líbano*) a dosis de 40 t/ha del fertilizante de fangos de depuradora, obtiene una mayor media de peso fresco, siendo significativamente superior a la media de las lechugas fertilizadas con abono mineral. En este mismo trabajo se pone de manifiesto que las parcelas donde se aplica fango de depuradora es mayor la cantidad de nitrato acumulada durante el tiempo que dura el ensayo, pero a la vez concluye que estos niveles de nitrato se encuentran por debajo del límite máximo de nitrato en lechuga establecido por la Comisión Europea (2005).

5.1. Lechuga

En los resultados del crecimiento vegetativo del cultivo, para la variable de longitud de la hoja más larga encontramos que el tratamiento hecho con RSU es el que menor longitud ha generado, resultado que son similares a los encontrados por Jaray (2019), todo y que cabe remarcar que Jaray (2019) realizado el cultivo de lechuga en invernadero y utilizando diferentes dosis. En cambio, no se encuentra relación para la variable de número de hojas totales, ya que en nuestro trabajo es el tratamiento de purín el que mayor número de hojas ha producido. En el mismo trabajo, para la biomasa final (Jaray, 2019) encuentra diferencias estadísticas suficientes para decir que hay diferencias significativas para las lechugas tratadas con fangos de depuradora y abono mineral, resultados que no concuerdan con los encontrados en nuestro ensayo, puesto que no encontramos diferencia alguna entre el tratamiento de fango y el de mineral.

Son varios los estudios que vinculan la concentración de clorofila con el nivel de nitrógeno (Evans, 1983; Rambo et al., 2010; Fontes et al., 1997). A pesar de que en este trabajo no

se valora el nitrógeno en la planta, encontramos bibliografía que nos lleva a deducir que existe una relación entre el nitrógeno disponible para las plantas y la acumulación de clorofila, tal como analiza Schlemmer et al. (2005) donde, a mayor dosis de fertilizante nitrogenado, mayor es la cantidad de clorofila obtenida. La concentración de clorofila en nuestro trabajo es superior en los tratamientos de fango de depuradora y purines, e inferior en los tratamientos de RSU y abono mineral. Estos resultados no concuerdan con los extraídos por (Jaray, 2019), ya que se manifiestan diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos de fango y purines tratados con la misma dosis de unidades fertilizantes, siendo los fangos de depuradora los que alcanzan mayor media.

En lo que respecta al porcentaje de lípidos, está claro que existe una relación entre la cantidad de nitrógeno y la acumulación de lípidos, tal como señala Li et al. (2008), y muchos otros que miden la cantidad de lípidos, evaluando la peroxidación lipídica estimada por la concentración de malondialdeído MDA (Siliquini et al., 2018; Chen, et al., 2018). En este mismo trabajo se pone de relevancia que la cantidad de lípidos en lechugas se ve modificada por la concentración de sales, la variedad de lechuga y el incremento de ozono. Fruto de nuestro ensayo, encontramos que el tratamiento con purines de cerdo es significativamente diferente al del resto de tratamientos, dato que no se corresponde con el encontrado por Jaray (2019), dado que, en este caso, el tratamiento con fango de depuradora es el tratamiento significativo y, a su vez, alcanzando porcentajes mayores de lípidos en toda la variable.

El contenido de los hidratos de carbono, tal como menciona Antón (2018) en su estudio, se ve influenciado tanto por la forma y la cantidad del nitrógeno suministrado a la planta como por la distribución, debido a diferencias en las necesidades energéticas de la absorción y asimilación del ion amonio y del nitrato (Vázquez et al., 2000). La concentración de hidratos de carbono conseguida en nuestro ensayo para el tratamiento de RSU es mayor que la encontrada por (Jaray, 2019); a su vez, cabe destacar que las proporciones de concentración de este elemento son mayores para el resto de tratamientos de este mismo trabajo.



5.2. Rabanito

En el crecimiento vegetativo de las plantas de rabanito tratadas con fangos de depuradora se han obtenido buenos resultados, como prueba nuestro trabajo. En este, para las variables de longitud total de hoja, de número de hojas y de biomasa final, la fertilización con fangos de depuradora ha demostrado que existen diferencias significativas respecto al resto de tratamientos. Con variables similares a las nuestras, el trabajo de Sousa & Figueiredo (2015) también obtuvo resultados parecidos. En ese mismo trabajo también se concluye que el motivo por el cual los fangos de depuradora han generado estos resultados es que son capaces de suministrar nutrientes a las plantas en un corto periodo de tiempo. En el trabajo de Terán (2019), los resultados de las variables de longitud y de número de hojas del cultivo a dosis parecidas a las nuestras, siguen siendo parecidos a los encontrados en este trabajo, aunque cabe remarcar que Terán (2019) utilizó fangos de matadero.

En lo que respecta a la concentración de clorofila, los resultados propuestos por Terán (2019) coinciden con los nuestros, donde la concentración de las clorofilas (a, b y total) es mayor para el tratamiento de abono mineral e inferior para el de fangos de depuradora. El mayor porcentaje de hidratos de carbono generado ha sido dado por el tratamiento de abono mineral, que también ha generado la mejor respuesta en concentración de clorofila; este último hecho ya se había descrito previamente por Samuolienė et al. (2006), para este mismo cultivo.

6. Conclusiones

Las principales conclusiones de este trabajo son:

- Los fertilizantes orgánicos, los fangos de depuradora y los purines de cerdo han causado un efecto positivo en el desarrollo del crecimiento vegetativo en ambos cultivos (lechuga y rabanito).
- El crecimiento vegetativo de ambos cultivos, tratados con residuos sólidos urbanos (RSU), ha dado como resultado valores inferiores para todas las variables respecto al crecimiento de los cultivos sometidos al resto de tratamientos.
- En el cultivo de lechuga los fertilizantes de abono mineral, de purines de cerdo y de fangos de depuradora han dado resultados estadísticamente iguales para todas las variables de crecimiento vegetativo analizadas.
- En el crecimiento vegetativo del cultivo de rabanito, la mayor cantidad de resultados favorables se atribuye al tratamiento realizado con fangos de depuradora.
- El contenido de clorofila en el cultivo de lechuga es igual para el tratamiento con fangos de depuradora y con purines de cerdo; ambos registran los valores más altos, en contraste con el tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU), que es el que menor cantidad registra. En cambio, para el cultivo de rabanito, los valores más altos de clorofila corresponden al tratamiento de fertilización mineral y los más bajos al de residuos sólidos urbanos.
- El efecto de los diferentes fertilizantes sobre el contenido de lípidos e hidratos de carbono es diferente para lechuga y rabanito. Para el cultivo de rabanito, en la variable lípidos no se encuentran diferencias significativas entre tratamientos, pero sí para la variable hidratos de carbono, donde el abono mineral es el que mayor porcentaje registra. En el cultivo de lechuga, el mayor porcentaje de lípidos es dado por los purines, y el mayor porcentaje de carbohidratos por el tratamiento de residuos sólidos urbanos (RSU).

Bibliografía

Aguilar, M. A., Ordoñez, R., & González, P. (1999). Capacidadde aportación de macronutrientes de un lodo de depuradora a un cultivo de rye-grass y calidad de los lixiviados. Estudios de la zona no saturada, 139-143.

Allison, L. E., & Richards, L. A. (1954). Diagnosis and improvement of saline and alkali soils (No. 60). Soil and Water Conservative Research Branch, Agricultural Research Service, US Department of Agriculture.

Alvariño, C. R. (2005). Residuos orgánicos de origen urbano e industrial que se incorporan al suelo como alternativa económica en la agricultura. Revista CENIC. Ciencias Químicas, 36(1), 45-53.

Antón, L. (2018). Estudio comparativo de la composición de macronutrientes y micronutrientes en diferentes tipos de lechugas procedentes de cultivo ecológico y convencional.

Ávila, S. L., Nieto, M. S., Jiménez, D. C., & Osorio, J. C. (2011). Análisis del impacto generado en un Sistema de Gestión Integral de Residuos Sólidos por el aumento de los residuos asociados al crecimiento de la población a través de Dinámica de Sistemas. Universidad Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, Comunidad Colombiana de Dinámica de Sistemas.

BOE núm. 181. Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.

BOE núm. 251. Real Decreto 815/2013, de 18 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento de emisiones industriales y de desarrollo de la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación.

BOE núm. 61. Real Decreto 261/1996, de 16 de febrero, sobre protección de las aguas contra la contaminación producida por los nitratos procedentes de fuentes agrarias.

Boixadera, J. & Teira, M. (2001). Aplicación agrícola de residuos orgánicos. Lleida: Universitat de Lleida, pp.63-78. Compostaje de residuos orgánicos y aplicación agrícola.

Boixadera, J. & Teira, M. (2001). Aplicación agrícola de residuos orgánicos. Lleida: Universitat de Lleida, pp.261-277. Uso de purín como fertilizante en una rotación de cultivos herbáceos de regadío.

Bravo, C., Gómez, D., Sánchez, M., Antolín, J., & Gallardo, T. (2010). Evolución del contenido de metales pesados en suelos agrícolas tras la aplicación de compost de RSU y lodos EDAR como fertilizante.

Castro, E., Mañas, M. & De Las Heras, J. (2009). Nitrate content of lettuce (*Lactuca sativa* L.) after fertilization with sewage sludge and irrigation with treated wastewater. *Food Additives & Contaminants: Part A*, 26(2), pp.172-179.

Chen, X. L., & Yang, Q. C. (2018). Effects of intermittent light exposure with red and blue light emitting diodes on growth and carbohydrate accumulation of lettuce. *Scientia horticulturae*, 234, 220-226.

Colomina, A. F. (2005). La gestión integral de los residuos sólidos urbanos en el desarrollo sostenible local. *Revista Cubana de Química*, 17(3), 35-39.

Coma, J., Bonet, J., & Companys, G. V. (2004). Producción ganadera y contaminación ambiental. XX Curso de Especialización FEDNA: Avances en nutrición y alimentación animal. Fira de Barcelona, España, 237-272.

Echeverri, S. M. P. (2004). Los residuos sólidos municipales como acondicionadores de suelos. *Revista lasallista de investigación*, 1(1), 56-65.

Eurostat (2019). Retrieved 10 December 2019, from <https://ec.europa.eu/eurostat/data/database>

Evans, J. R. (1983). Nitrogen and photosynthesis in the flag leaf of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Plant physiology*, 72(2), 297-302.

Farhangi-Abriz, S., & Torabian, S. (2018). Biochar improved nodulation and nitrogen metabolism of soybean under salt stress. *Symbiosis*, 74(3), 215-223.



Fontes, P., Pereira, P. & Conde, R. (1997). Critical chlorophyll, total nitrogen, and nitrate-nitrogen in leaves associated to maximum lettuce yield. *Journal of Plant Nutrition*, 20(9), pp.1061-1068.

García, F. (1996). Utilización de lodos de depuradora como enmendantes de suelos degradados: valoración de los cambios en sus propiedades físicas, químicas y biológicas.

Giráldez, F., Quintanilla, S. & Herrero, S. (1995). Uso del compost procedente de residuos sólidos urbanos en la horticultura. pp.127-128.

Gutser, R., Ebertseder, T., Weber, A., Schraml, M., & Schmidhalter, U. (2005). Short-term and residual availability of nitrogen after long-term application of organic fertilizers on arable land. *Journal Of Plant Nutrition And Soil Science*, 168(4), 439-446.

Hernández, D. (2006). Utilización del purín de cerdo como enmienda orgánica en suelos degradados: valoración agronómica y ambiental

Huerta, O., López, M., Soliva, M., & Zaloña, M. (2008). Control del proceso, rendimiento y calidad del producto. Compostaje de residuos municipales. ESAB-ARC.

Inskeep, W. P., & Bloom, P. R. (1985). Extinction coefficients of chlorophyll a and b in N, N-dimethylformamide and 80% acetone. *Plant physiology*, 77(2), 483-485.

Jaray, S. (2019). Efecte de diferents tipus d'adobat orgànic en el desenvolupament i contingut de lípids, sucres i clorofil·les en un cultiu d'enciam en hivernacle (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Kaza, S., Yao, L., Bhada-Tata, P., & Van Woerden, F. (2018). What a waste 2.0: a global snapshot of solid waste management to 2050. The World Bank.

Li, Y., Horsman, M., Wang, B., Wu, N. & Lan, C. (2008). Effects of nitrogen sources on cell growth and lipid accumulation of green alga *Neochloris oleoabundans*. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 81(4), pp.629-636.

Llona, M., & Faz, A. (2006). Efectos en el sistema suelo-planta después de tres años de aplicación de purín de cerdo como fertilizante en un cultivo de brócoli (*Brassica oleracea* L.). *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*, 6(1), 41-51.

Locoli, G. A., & Gómez, M. A. (2014). Metabolismo microbiano y desarrollo vegetal pos aplicación de fertilizantes, digerido y estiércol.

López, J., Navarro, M. & Rad, C. (2010). Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental. Burgos: Universidad de Burgos, p.126. El uso de compost de residuos sólidos municipales como enmienda orgánica: aportaciones de diferentes componentes según origen.

López, J., Navarro, M. & Rad, C. (2010). Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental. Burgos: Universidad de Burgos, pp.703-711. Efecto del compost de residuos sólidos urbanos y lodos EDAR como fertilizante en la producción de cebada (*Hordeum vulgare*)

López, J., Navarro, M., & Rad Moradillo, C. (2010). Compostaje de residuos orgánicos y seguridad medioambiental. Burgos: Universidad de Burgos. p. 88-98. Sostenibilidad en la gestión de residuos orgánicos municipales: su implicación en la protección del suelo.

López, M., Masaguer, A., Paredes, C., Roca, L., Ros, M., Salas, M. and Boluda, R. (2015). De residuo a recurso. El camino hacia la sostenibilidad. 1st ed. Mundi-Prensa.

Maas, E. V., & Hoffman, G. J. (1977). Crop salt tolerance—current assessment. Journal of the irrigation and drainage division, 103(2), 115-134.

Margenat, A.M., 2018. Dynamics of chemical microcontaminants in peri-urban agriculture and evaluation of their potential impact on crops and human health. Tesis Doctoral. Universidad Politècnica de Catalunya. pp.187.

Marín, C. E., & Marín, R. G. (2009, September). Tratamiento de purines de ganado porcino en España para minimizar la contaminación de suelos y su impacto ambiental. In Congreso Internacional sobre Desertificación.

Moreno, J., Moral, R., García-Morales, J., Pascual, J. & Bernal, M. (2016). Residuos ganaderos I. 2nd ed. Ediciones Paraninfo, S.A., pp.47-55.

Nadal, M. (2015). Efecte de la incorporació de biochar al sòl i estrès abiòtic de contaminants orgànics emergents presents en l'aigua de reg en la producció de biomassa de *Lactuca sativa*. pp.69-71.



Pang, X. P., & Letey, J. (2000). Organic farming challenge of timing nitrogen availability to crop nitrogen requirements. *Soil Science Society of America Journal*, 64(1), 247-253.

Pomares F. & Ramos, C. 2010. Fertilización de cultivos hortícolas. Guía Práctica de fertilización racional de los cultivos. Vol.2. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino

Pomares, F. & Canet, R, 2001, Los residuos orgánicos utilizables en agricultura: origen, composición y características. . 2001.

Predicció meteorològica general per a Catalunya | Meteocat. (2020). Retrieved <https://www.meteo.cat/prediccio/general>.

Rambo, L., Ma, B., Xiong, Y. & Regis Ferreira da Silvia, P. (2010). Leaf and canopy optical characteristics as crop-N-status indicators for field nitrogen management in corn. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 173(3), pp.434-443.

Rocamora, I. N., Porto, C. G., Alonso, L. P., & Navarro-García, F. (2015). Uso de lodos de depuradora en agricultura: patógenos y resistencias a antibióticos. *Revista de Salud Ambiental*, 15(2), 113-120

Samuolienė, G., Sakalauskaitė, J., Duchovskis, P., Brazaitytė, A., Šikšnianienė, J. B., Ulinskaitė, R., & Baranauskis, K. (2006). The Effect of Elevated CO₂ Concentrations on Leaf Carbohydrate, Chlorophyll Contents and Photosynthesis in Radish. *Polish Journal of Environmental Studies*, 15(6).

Schlemmer, M., Francis, D., Shanahan, J. & Schepers, J. (2005). Remotely Measuring Chlorophyll Content in Corn Leaves with Differing Nitrogen Levels and Relative Water Content. *Agronomy Journal*, 97(1), p.106.

Siliquini, O. A., Cardozo, M. C. P., Lobartini, J. C., Orioli, G. A., Quiriban, A., Ponce, J. P., & Riestra, D. R. (2018). Tolerancia de plantines de distintos genotipos de lechuga (*Lactuca sativa* L.) al riego con agua de alto contenido en sales. *Semiárida*, 27(2).

Silla, F., González-Gil, A., González-Molina, M. E., Mediavilla, S., & Escudero, A. (2010). Estimation of chlorophyll in *Quercus* leaves using a portable chlorophyll meter: effects of species and leaf age. *Annals of forest science*, 67(1), 108.

Sousa, A., & Figueiredo, C. (2015). Sewage sludge biochar: effects on soil fertility and growth of radish. *Biological Agriculture & Horticulture*, 32(2)

Terán, A. (2019). Valorización agronómica de lodos depurados procedentes de un matadero de porcino (Bachelor's thesis, Universitat Politècnica de Catalunya).

Urquiaga, S., & Zapata, F. (2000). Fertilización nitrogenada en sistemas de producción agrícola. URQUIAGA, S.; ZAPATA, F. Manejo eficiente de la fertilización nitrogenada de cultivos anuales en América Latina y el Caribe. Porto Alegre: Gênese, 77-88.

Vázquez, C. G., Sáenz, E. O., Alvarado, R. V., & García, F. Z. (2000). Absorción de nitrato y amonio por plantas de nopal en hidroponía. *Terra Latinoamericana*, 18(2), 133-139.

Villar, I., Pérez, D., Patiño, J., Domínguez, M. & Mato, S. (2011). Estudio de la concentración de metales pesados en distintas fracciones granulométricas durante el compostaje de residuos orgánicos municipales.

Volumen de la recogida de residuos sólidos urbanos. 2014-2018. (2020). Retrieved: <https://www.bcn.cat/estadistica/castella/dades/anuari/cap18/C1801010.htm>



Anexos

Anexo A. Cálculo de las dosis de los fertilizantes orgánicos y mineral para el cultivo de lechuga y rabanito en exterior

Anexo B. Fotografías del trabajo

Anexo C. Planos y croquis del trabajo

ANEXO A. Cálculo de las dosis de los fertilizantes orgánicos y mineral para el cultivo de lechuga y rabanito en exterior

Cultivo lechuga exterior

- **Tratamiento de lechugas (3 orgánicos + 1 mineral)**
 - Fertilización: 3 orgánicos (RSU Compost, Fangos de depuradora, Purines de cerdo) + 1 mineral)
 - Total tratamientos: 4
 - Total repeticiones: 4
- **Características de la parcela:**
 - $1,2 \text{ m} \times 5 \text{ m} = 6 \text{ m}^2$
 - $6 \text{ m}^2 \times 4 \text{ repeticiones} = 24 \text{ m}^2$
- **Extracciones lechuga**

Extracciones lechuga: N = 80-100 kg/ha; P_2O_5 = 30-50 kg/ha, K_2O = 160-210 kg/ha (Pomares F.; Ramos, C. 2010)

- $$N = \frac{100 \text{ kg N}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} \times \frac{1000 \text{ g N}}{1 \text{ kg N}} \times = 10 \frac{\text{g N}}{\text{m}^2}$$
- $$P_2O_5 = \frac{40 \text{ kg } P_2O_5}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} \times \frac{1000 \text{ g } P_2O_5}{1 \text{ kg } P_2O_5} \times = 4 \frac{\text{g } P_2O_5}{\text{m}^2}$$
- $$K_2O = \frac{185 \text{ kg } K_2O}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} \times \frac{1000 \text{ g } K_2O}{1 \text{ kg } K_2O} \times = 18,5 \frac{\text{g } K_2O}{\text{m}^2}$$



- **Necesidades de abono según tratamiento**

○ **Fertilizante mineral**

1. $\text{Nitrato amónico} = 10 \frac{\text{g N}}{\text{m}^2} \times 6 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g abono}}{34 \text{ g N}} \times \frac{1}{0,5 \text{ eficiència}} = 353 \text{ g} \frac{\text{Nitrato amónico}}{\text{parcela}}$
2. $\text{Super fosfato} = 4 \frac{\text{g P}_2\text{O}_5}{\text{m}^2} \times 6 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g abono}}{43,6 \text{ g P}_2\text{O}_5} = 55 \text{ g} \frac{\text{superfosfato}}{\text{parcela}}$
3. $\text{Sulfato potasico} = 18,5 \frac{\text{g K}_2\text{O}}{\text{m}^2} \times 6 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g abono}}{54 \text{ g K}_2\text{O}} = 206 \text{ g} \frac{\text{Sulfato potasico}}{\text{parcela}}$

*: El nitrógeno se dará en forma de nitrato de amónico (34%) repartido en dos momentos (fondo y cobertera). La primera aportación de 176.5 g como abono de fondo y la segunda de 176,5 como abono de cobertera.

○ **Necesidades purines**

Superficie de las parcelas de purines = $1,2 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} = 3 \text{ m}^2$

Característica purín: Consideremos purines de lechones (6-20 kg).

- N: $3,4 \text{ kg N/m}^3$
- P: $2,6 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{m}^3$
- K: $1,7 \text{ kg K}_2\text{O/m}^3$

De acuerdo con la tabla orientativa del contenido de nutriente de la oficina de fertilización y tratamiento de deyecciones ganaderas.

- N total engorde = $3,42 \text{ kg/m}^3$; N amoniacal (estimado) = $2,38 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Purin} = \frac{10 \text{ g N}}{\text{m}^2} \times 3 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ L purí}}{2,38 \text{ g N}} = 12 \text{ L} \frac{\text{purin fresco}}{\text{parcela}}$$

Total purines = $12 \text{ l} \times 4 \text{ repeticiones} = 48 \text{ l de purín}$

○ **Necesidades fracción orgánica-RSU (Torrelles)**

Características compost:

- M.O.= 50 % sms
- Humedad = 20 %
- N = 1,74 % sms
- N amoniacal = 0,29 % sms
- P₂O₅ = 2,5 % sms
- K₂O = 5,8 % sms

$$N = \frac{10 \text{ g N}}{\text{m}^2} \times 6 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g compost seco}}{0,29 \text{ g N}} = 21.000 \frac{\text{g de compost seco}}{\text{parcela}}$$

Peso fresco compost = 21 kg x 100/80 = 26 kg compost seco

Total compost = 26 kg compost seco x 4 repeticiones = 104 kg compost seco

○ **Fangos de depuradora (EDAR El Prat)**

Características promedias de los fangos procedentes de 5 analíticas:

- Materia seca= 20% sms
- N total 5,4% sms
- N amoniacal: 1,74% sms
- P₂O₅ = 5,5 % sms
- K₂O = 0,4 % sms

$$\begin{aligned} \text{Fang en base a N total} &= \frac{10 \text{ g N}}{\text{m}^2} \times 6 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g fango seco}}{1,74 \text{ g N}} \times \frac{100 \text{ g fango fresco}}{20 \text{ g fango seco}} \\ &= 17.241 \frac{\text{g de fango fresco}}{\text{parcela}} \end{aligned}$$



Total fangos = 18 kg X 4 repeticiones = 72 kg de fango

Cultivo rabanito exterior

- Tratamiento de rabanito (3 orgánicos + 1 mineral)

- Fertilización: 3 orgánicos (RSU Compost, Fangos de depuradora, Purines de cerdo) + 1 mineral)
- Total tratamientos: 4
- Total repeticiones: 4

- Características de la parcela:

- $0,8 \text{ m} \times 3 \text{ m} = 2,4 \text{ m}^2$
- $2,4 \text{ m}^2 \times 4 \text{ repeticiones} = 9,6 \text{ m}^2$

- Extracciones rabanito

Extracciones rabanito: N = 80 kg/ha, P_2O_5 = 30 kg/ha, K_2O = 90 kg/ha . Pomares F.; Ramos, C. 2010

- $$N = \frac{80 \text{ kg N}}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} \times \frac{1000 \text{ g N}}{1 \text{ kg N}} \times = 8 \frac{\text{g N}}{\text{m}^2}$$
- $$P_2O_5 = \frac{30 \text{ kg } P_2O_5}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} \times \frac{1000 \text{ g } P_2O_5}{1 \text{ kg } P_2O_5} \times = 3 \frac{\text{g } P_2O_5}{\text{m}^2}$$
- $$K_2O = \frac{90 \text{ kg } K_2O}{\text{ha}} \times \frac{1 \text{ ha}}{10.000 \text{ m}^2} \times \frac{1000 \text{ g } K_2O}{1 \text{ kg } K_2O} \times = 9 \frac{\text{g } K_2O}{\text{m}^2}$$

- Necesidades de abono según tratamiento

○ Fertilizante mineral

1.
$$\text{Nitrato amónico} * = 8 \frac{\text{g N}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g abono}}{34 \text{ g N}} \times \frac{1}{0,5 \text{ eficiencia}} = 113 \text{ g } \frac{\text{Nitrato amónico}}{\text{parcela}}$$
2.
$$\text{Super fosfato} = 3 \frac{\text{g } P_2O_5}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g abono}}{43,6 \text{ g } P_2O_5} = 16,5 \text{ g } \frac{\text{superfosfato}}{\text{parcela}}$$

$$3. \text{ Sulfato potasico} = 9 \frac{\text{g K}_2\text{O}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g abono}}{54 \text{ g K}_2\text{O}} = 40 \text{ g} \frac{\text{Sulfato potasico}}{\text{parcela}}$$

*: El nitrógeno se dio en forma de nitrato de amónico (34%) repartido en dos momentos (fondo y cobertera). La primera aportación de 56.5 g como abono de fondo y la segunda de 56,5 como abono de cobertera.

○ Necesidades purines

Superficie de las parcelas de purines = $0,8\text{m} \times 2\text{m} = 1,6\text{m}^2$

Característica purín: Consideremos purines de lechones (6-20 kg).

- N: $3,4 \text{ kg N/m}^3$
- P: $2,6 \text{ kg P}_2\text{O}_5/\text{m}^3$
- K: $1,7 \text{ kg K}_2\text{O/m}^3$

De acuerdo con la tabla orientativa del contenido de nutriente de la oficina de fertilización y tratamiento de deyecciones ganaderas.

- N total engorde = $3,42 \text{ kg/m}^3$; N amoniacal (estimado) = $2,38 \text{ kg/m}^3$

$$\text{Purin} = \frac{8 \text{ g N}}{\text{m}^2} \times 1,6 \text{ m}^2 \times \frac{1 \text{ L purí}}{2,38 \text{ g N}} = 5 \text{ L} \frac{\text{purin fresco}}{\text{parcela}}$$

Total purines = $5 \text{ l} \times 4 \text{ repeticiones} = 20 \text{ l purín}$

○ Necesidades fracción orgánica-RSU (Torrelles)

Características compost:

- M.O.= 50 % sms
- Humedad = 27 %
- N = 1,74 % sms
- N amoniacal = 0,29 % sms
- P_2O_5 = 2,5 % sms
- K_2O = 5,8 % sms



$$N = \frac{8 \text{ g N}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g compost seco}}{0,29 \text{ g N}} = 6,620 \frac{\text{g de compost seco}}{\text{parcela}}$$

Peso fresco compost = 6,62 kg x 100/73 = 9 kg compost seco

Total compost = 9 kg compost seco x 4 repeticiones = 36 kg compost seco

○ **Fangos de depuradora (EDAR El Prat)**

Características promedias de los fangos procedentes de 5 analíticas:

- Materia seca= 20% sms
- N total 5,4% sms
- N amoniacal: 1,74% sms
- P₂O₅ = 5,5 % sms
- K₂O = 0,4 % sms

$$\begin{aligned} \text{Fang en base a N total} &= \frac{8 \text{ g N}}{\text{m}^2} \times 2,4 \text{ m}^2 \times \frac{100 \text{ g fango seco}}{1,74 \text{ g N}} \times \frac{100 \text{ g fango fresco}}{20 \text{ g fango seco}} \\ &= 5,517 \frac{\text{g de fango fresco}}{\text{parcela}} \end{aligned}$$

Total fangos = 5,5 kg X 4 repeticiones = 22 kg fango

ANEXO B. Fotografías del trabajo



Imagen 1. Limpieza y trabajo mecánico de la parcela



Imagen 2. Triangulación del campo



Imagen 3. Delimitación de los márgenes exteriores del campo



Imagen 4. Delimitación de cada subparcela



Imagen 5. Aplicación e incorporación de los fertilizantes



Imagen 6. Aplicación e incorporación de los fertilizantes



Imagen 7. Instalación del sistema de riego



Imagen 8. Plantación de lechuga



Imagen 9. Siembra de rabanito



Imagen 10. Aclarado de rabanito



Imagen 11. Colocación de red anti-pájaros en el cultivo de rabanito



Imagen 12. Control periódico de hierbas adventicias



Imagen 13. Abonado de cobertera mineral en rabanito



Imagen 14 Abono de cobertera mineral en lechuga



Imagen 15. Cosecha de rabanito



Imagen 16. Cosecha de lechuga

Anexo C. Croquis del trabajo



